

# **Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha**

*Raquel Carvalhinha Alves Sobral*

**Dissertação do MEMG**

**Orientador:**

Professor José Manuel Soutelo Soeiro de Carvalho

**Coorientador:**

Professor Vinícius Gouveia de Miranda



**Mestrado em Engenharia de Minas e Geoambiente**

Porto, Novembro de 2017



*The road is hard and full of rocks ...*

*But the dynamite is stronger than rock.*

*Artur Sobral*



## Agradecimentos

Após todos estes meses de trabalho árduo, chega a altura de pensar a quem se deveu todo este percurso que culmina neste relatório.

Tendo este pensamento em conta, quero primeiramente agradecer à minha família mais próxima por me ter, desde sempre, estimulado intelectualmente e apoiado todas as minhas decisões pessoais e académicas ao longo destes anos. Um profundo obrigada.

Ao Professor José Soeiro de Carvalho, orientador da presente dissertação, quero agradecer pela ajuda durante a realização da mesma.

Não poderia de deixar de agradecer ao meu Co-Orientador, Vinícius Miranda, não só pela proposta do tema e por toda a ajuda prestada, mas também por ter sido um grande apoio, sendo capaz de me levantar a moral e acalmar-me em períodos de ansiedade.

Deixo o meu agradecimento ainda ao Francisco Leite e à Cristiana Ribeiro, ao primeiro por, na reta final deste relatório, ter aparecido como um verdadeiro herói de banda desenhada e ter-me ajudado a terminá-lo com tenacidade e à segunda por me ter facultado o equipamento necessário durante todos estes meses.

Um especial obrigado ao Luís Oliveira, por ter sido o meu Co-Orientador não oficial, por ter lidado comigo durante todos estes anos e por ter estado presente em todas as fases do meu percurso até agora.

Aos meus “velhos” amigos, aqueles que percorrem este longo caminho ao meu lado muito antes da Faculdade, um muito obrigado por tudo. Sem vocês não teria sido a mesma coisa. Deixo ainda um especial agradecimento ao Ricardo Oliveira por ter sido um dos melhores amigos que tive até hoje.

Quero deixar um agradecimento que não é possível expressar por meras palavras a todos aqueles que cruzaram o meu caminho na FEUP. A todos os laços que foram criados em momentos de desespero ou procrastinação, a todos os momentos vividos com vocês e, ainda, a todos aqueles que ainda estão para vir. Apenas sobra a vontade de voltar ao início e voltar a viver tudo novamente e a esperança de que isto não fica por aqui.

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

Finalmente, quero agradecer ao Departamento de Minas e à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a todos que a integram, por terem sido a minha segunda casa, durante estes cinco anos.

## Resumo

A grande parte da indústria mineira tem por base o desmonte de rocha (transformação de blocos de grande dimensão em blocos de rocha de menor dimensão) para, posteriormente, extrair o minério que se encontra na mesma. A frente de desmonte funciona como um grande bloco que deve ser repartido em blocos menores e, para tal, usam-se, por exemplo, métodos mecânicos ou utilizam-se explosivos para a sua extração.

Aquando do uso de explosivos, torna-se inevitável a geração de vibrações no terreno. Estas vibrações podem criar inúmeros problemas, como por exemplo (no caso de a atividade mineira se encontrar perto de uma zona urbana) a influência das vibrações nas infraestruturas urbanas. Para que a empresa possa evitar problemas legais existe uma monitorização de todo o processo do desmonte, com aparelhos próprios para o efeito, como por exemplo, o sismógrafo.

O uso do sismógrafo permite recolher toda a informação necessária durante o desmonte de rocha, para que o Engenheiro responsável possa ter no seu poder as leituras relativas ao PPV (*Peak Particle Velocity*) que foi gerado durante a extração da rocha. Para além disso são executados ensaios prévios ao desmonte, com o uso de menores quantidades de explosivo e registadas as vibrações geradas de forma a otimizar o processo e criar uma noção da quantidade máxima de explosivo que poderá ser utilizado de forma a não infringir a lei imposta pelo respetivo país. No entanto, estes aparelhos de monitorização apresentam algumas desvantagens, tais como o valor capital e as dimensões dos aparelhos.

Numa tentativa de resolver este problema, surgiu a ideia de utilizar um iPhone (que se encontra equipado com dispositivos requeridos para uma correta monitorização, nomeadamente acelerómetros), ficando assim solucionados os dois problemas mencionados. Com o objetivo supramencionado em mente, foi necessário dividir o projeto em duas fases: a primeira fase, o desenvolvimento da aplicação no *software Xcode* e em linguagem *Swift*, onde será executado o registo das vibrações e ocorre o tratamento dos dados recebidos, e a segunda fase, onde se procedeu à execução de ensaios usando outros aparelhos de medição de vibrações e simultaneamente o iPhone, durante desmontes de rocha.

**Palavras-chave:** Vibrações; Explosivos; Sismógrafos; PPV; Tecnologia iOS





## **Seism-O: development of an app for analysis of vibrations in rock blasting**

# Abstract

The mining industry is based on the blasting of rock (transformation of blocks into smaller blocks of rock) to later extract the ore present in the rock. The blasting front acts as a large block which must be divided into smaller blocks and for this purpose we can use mechanical methods or explosives.

When using explosives, the generation of vibrations on the ground is inevitable. These vibrations can create numerous problems, for example (in the case of a mining activity near an urban area) the influence of vibrations in urban infrastructures. For the company avoid legal problems or avoid blasting with rock throwing during the extraction (flyrock), among others, there is a monitoring of the whole process of the blasting, with apparatuses suitable for this purpose, such as the seismograph.

The use of the seismograph allows to collect all the information necessary during the rock removal, so that the Engineer in charge can have in his power the readings related to the PPV (Peak Particle Velocity) that was generated during the extraction of the rock. In addition, pre-disassembly tests are carried out using smaller quantities of explosive while the vibrations generated are recorded, in order to optimize the process and create a notion of the maximum amount of explosive that can be used in a way that does not infringe the imposed law by their country. However, these monitoring apparatuses present some disadvantages, such as the capital value and the dimensions of the apparatus

With the aforementioned objective in mind, it was necessary to divide the project into two phases: the first phase, the development of the application in Xcode and in Swift language, where the vibration recording will be executed and the data received will be processed, and the second phase, where we performed the tests using other vibration measuring devices, in order to compare with the results obtained simultaneously in the iPhone.

**Keywords:** Vibrations; Explosives; Seismographs; PPV; IOS technology



# Índice

1.	Introdução .....	1
1.1.	Objetivos do trabalho .....	3
1.2.	Organização dos temas abordados no relatório .....	3
2.	Vibração gerada por desmonte .....	5
2.1.	Desmonte .....	5
2.2.	Desmonte com recurso a explosivos .....	6
2.3.	Vibração gerada por desmonte com recurso a explosivo .....	7
2.3.1.	Amplitude de vibração e Peak Particle Velocity .....	8
2.3.2.	Frequências de vibração .....	12
3.	Equipamentos de medição de vibração: sismógrafos .....	15
3.1.	Princípio de funcionamento .....	15
3.2.	Principais características .....	18
3.3.	Estrutura do equipamento .....	18
3.3.1.	Transdutor de velocidade .....	18
3.3.2.	Acelerómetros piezoelétricos .....	19
3.3.3.	Acelerómetros Force Balance (FBA) .....	19
3.3.4.	Acelerómetros MEMS .....	20
3.4.	Ficha técnica do Instantel ® Minimate Pro 6 .....	23
4.	Tecnologia iOS .....	25

4.1.	iPhone 6s.....	26
4.2.	Acelerómetros presentes no iPhone 6s .....	27
4.2.1.	BMA-280 Bosch Sensortec .....	28
4.2.2.	MPU-6500 TDK InvenSense .....	29
4.3.	XCODE.....	31
4.3.1.	Linguagem Swift .....	33
5.	Desenvolvimento da aplicação .....	39
5.1.	Recolha de dados .....	39
5.2.	Tratamento de dados .....	42
5.3.	Server: servidor de armazenamento de informação.....	46
5.3.1.	Linguagem PHP.....	46
5.3.2.	Método de envio .....	46
5.4.	UI: User Interface .....	47
6.	Desenvolvimento do suporte .....	51
7.	Ensaios de campo .....	55
8.	Discussão de resultados .....	60
9.	Considerações finais .....	62
10.	Trabalhos futuros .....	64
11.	Referências .....	68

# Índice de Figuras

Figura 1 – Modo de propagação das ondas S (Geociências, s.d.) .....	8
Figura 2 – Avaliação dos valores do PPV de acordo com o critério DIN 4150 (Hosseini & Baghikhani, 2013) .....	11
Figura 3 – Critério USBM RI 8507 para desmonte de rocha com recurso a explosivo: PPV vs Frequência (Damage, Vibration Standards , 2017) .....	13
Figura 4 – Princípio de funcionamento de um sismógrafo (Incorporated Research Institutions for Seismology) .....	16
Figura 5 - Registo das vibrações resultantes da detonação numa pedreira (dBi, s.d.) ...	17
Figura 6 – Registo num sismograma das ondas P, S e R (Lnec, 2005).....	17
Figura 7 – Constituintes de um transdutor de velocidade (dBi, s.d.) .....	19
Figura 8 – Exemplo de um sensor MEMS (Torres H. , 2014). .....	20
Figura 9 - Elementos constituintes da tecnologia MEMS (Torres, 2014). .....	21
Figura 10 – Sensor “Sensimed’s Triggerfish™ implantable MEMS IOP” (Sensimed, s.d.) .....	22
Figura 11 – Sistemas Microeletromecânicos de um acelerómetro (Mechatronics, 2017) .....	22
Figura 12 – Sismógrafo Instantel ® Minimate Pro 6 (Instantel, s.d.) .....	24
Figura 13 – iPhone da gama 6s da marca Apple (Apple, 2017).....	26
Figura 14 – Coordenadas analisadas por um acelerómetro triaxial (Prada, 2009).....	27
Figura 15 - Modelo BMA-280 Bosch Sensortec .....	29
Figura 16 – Exemplo do modelo BMA – 280 Bosch SensorTec (Bosch, 2017).....	29

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

Figura 17 - Localização dos sensores BMA-280 e MPU-6500 no iPhone 6s (Dixon-Warren, 2014).....	30
Figura 18 – Ambiente de desenvolvimento do software Xcode (Sinicki, 2016).....	31
Figura 19 – Interface do software Xcode (Sinicki, 2016). ....	32
Figura 20 – Programação estruturada vs Programação Orientada a Objetos (Machado, s.d.) .....	34
Figura 21 – Conceitos fundamentais associados à linguagem orientada ao objeto (JJHOOW, 2011).....	35
Figura 22 – Herança na programação orientador- objeto (Machado, s.d.).....	36
Figura 23 – Código Seism-O: importação das bibliotecas, acesso e recolha de dados do acelerómetro .....	40
Figura 24 - Código Seism-O: recolha de valores para o histórico de vibrações correspondentes ao iPhone imóvel (vibrações ressonantes).....	41
Figura 25 - Código Seism-O: definição do “trigger” e do tempo de duração para recolha de dados .....	42
Figura 26 – Determinação do integral através do cálculo da área sob a função $f(x)$ (Integração Numérica, 2017).....	43
Figura 27 - Código Seism-O: Correção dos valores dos eixos X, Y e Z.....	44
Figura 28 - Código Seism-O: multiplicação dos valores da aceleração pela gravidade. ....	44
Figura 29: Código Seism-O: aplicação da integração pelo método de Simpson.....	45
Figura 30 – Interface “Main Menu” da aplicação Seism-O .....	47
Figura 31 – Interface “Data” da aplicação Seism-O.....	48
Figura 32 – Esquema dos testes iniciais .....	51
Figura 33 – Gráfico representativo dos valores obtidos no eixo dos X.....	52
Figura 34 – Suporte desenvolvido para o iPhone (base) .....	53
Figura 35 – Suporte desenvolvido para o iPhone (aplicação dos parafusos com porca de orelhas) .....	53
Figura 36 – Fixação do iPhone ao suporte .....	54

Figura 37 – Resultados obtidos no novo teste - componente Z (assinalada a vermelho)	54
Figura 38 – Esquema do teste de campo, com relação à frente de desmonte.....	55
Figura 39 – Configurações definidas para o teste de campo .....	56
Figura 40 –Da esquerda para a direita: Velocidade máxima em X; Velocidade máxima em Y e velocidade máxima em Z (em mm/s).....	57
Figura 41 – Resultados obtidos no sismógrafo Instantel (em mm/s) após o primeiro desmonte.....	57
Figura 42 - Análise para o intervalo de confiança da média e do resíduo.....	58
Figura 43 - Da esquerda para a direita: Velocidade máxima em X; Velocidade máxima em Y e velocidade máxima em Z (em mm/s).....	59
Figura 44 - Resultados obtidos no sismógrafo Instantel (em mm/s) após o segundo desmonte.....	59
Figura 45 – Aplicação O-Pitblast incorporada com o módulo de monitorização de vibrações.....	63
Figura 46 – Protótipo do “estojo” desenhado para iPhone.....	64
Figura 47 – Modo de funcionamento do “estojo” desenhado para iPhone .....	65
Figura 48 – À esquerda: interface onde se encontram registados os dados graficamente. À direita: interface onde se encontram registados os dados através de ficheiros.....	65
Figura 49 – Algumas opções disponíveis para o utilizador executar nos seus ficheiros	66
Figura 50 – À esquerda: Interface de criação de conta na aplicação À direita: Interface da opção de Login nas sessões seguintes.....	66
Figura 51 – Interface de visualização do gráfico PPV em tempo real .....	67
Figura 52 – Interface onde o utilizador pode marcar o local onde executou as medições .....	67

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Algumas equações que permitem o cálculo do PPV (Hosseini & Baghikhani, 2013).....	10
Tabela 2 – Algumas características técnicas no sismógrafo Instantel ® Minimate Pro 6 .....	24
Tabela 3 – Caraterísticas principais do iPhone 6s (Apple, 2017).....	26
Tabela 4 - Modelos de acelerómetros introduzidos em diferentes gerações de iPhones (Allan, 2017).....	28
Tabela 5 – Especificações técnicas do modelo BMA-280, Bosch Sensortec (Bosch, 2017).....	29
Tabela 6 - Especificações técnicas do modelo MPU – 6500 TDK InvenSense (TDK, 2017).....	30



# 1. Introdução

A indústria mineira é essencial no mundo que nos rodeia. Sem ela não possuiríamos minerais fundamentais para o nosso dia-à-dia. Estes minerais são usados, por exemplo, na construção de telemóveis, computadores ou simplesmente no lápis que usamos para escrever uma nota importante.

No entanto, para usufruirmos desses minerais é necessário extraí-los da Terra primeiro. As empresas que exploram minas a céu aberto e pedreiras têm como um dos seus objetivos a extração de rocha através do processo de desmonte de “bancadas”. Ou seja, a “bancada” de desmonte (constituída por um grande bloco de rocha) sofre transformações para se tornar num bloco com dimensões mais reduzidas e, assim, ser possível a extração do minério presente.

Estas transformações podem ser executadas de inúmeras formas, tais como, através de maquinaria (desmonte mecânico) ou com recurso a explosivos. Principalmente no segundo caso, as empresas deparam-se com alguns problemas relativamente às vibrações geradas aquando da detonação. Um desses problemas baseia-se nas obrigações que devem ser cumpridas (por lei) relativamente à “avaliação da influência de vibrações” em estruturas circundantes ou mesmo a influência dessas vibrações nas pessoas que se encontram na área de “ação”.

Como exemplo temos a norma portuguesa “NP 2074 de 2015 - Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas” que nos diz que uma vibração impulsiva corresponde a uma “Vibração originada por uma solicitação de curta duração, mas de intensidade significativa que, quando terminada a solicitação tem, essencialmente, as características de uma vibração livre”, ou seja, por exemplo, o caso de um desmonte com recurso a explosivos (Aroeira, 2016).

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

Na mesma norma, apresentam-se obrigatoriedades no que toca à instrumentação utilizada para a avaliação dessas vibrações, nomeadamente (Aroeira, 2016):

- ❖ Transdutores ou acelerómetros triaxiais com intervalos de frequências entre 2 Hz a 80 Hz;
- ❖ Condicionador de sinal;
- ❖ Sistema de registo e processamento;

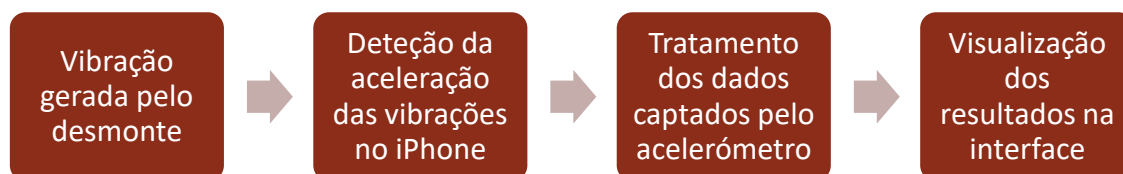
É nesta fase que a seleção do equipamento se torna essencial, pois deve cumprir as normas requeridas por lei para tal efeito. Existem inúmeros dispositivos como acelerómetros, sismógrafos, etc. No entanto, apresentam algumas desvantagens como custo extremamente elevado e dimensões e condições de transporte desfavoráveis.

Assim surgiu a ideia do uso do iPhone para “substituir” os equipamentos supramencionados. O dispositivo utilizado no decurso deste trabalho foi o iPhone 6s que possui um acelerómetro com gama de frequências dentro das estipuladas por lei, como será possível consultar no capítulo 4.

Desta forma o Engenheiro responsável teria capacidade de saber, em tempo real, se o desmonte realizado ultrapassou as normas exigidas pela lei do país onde se encontra e ainda armazenar toda a informação relativa ao desmonte, com o simples uso do iPhone. Por exemplo, a norma portuguesa NP 2074, já referida anteriormente, diz-nos que o valor máximo admissível para pico máximo de velocidade é de 60 mm/s (Bernardo & Gama).

Assim, criavam-se condições para o responsável do projeto saber prontamente se ultrapassou o limite de 60 mm/s através da apresentação valor máximo da velocidade (em cada uma das componentes) na interface da aplicação e do PPV (*Peak Particle Velocity*) obtido.

Finalmente e como breve abertura a este trabalho, podemos afirmar que o processo que envolve a aplicação *SEISM-O* baseou-se nas seguintes etapas:



Inicialmente gera-se uma vibração proveniente do desmonte com recurso a explosivos que será captada pelo iPhone (que se encontrará instalado com a aplicação desenvolvida durante todo este trabalho). A aplicação permitirá o registo e armazenamento das acelerações que, em tempo real, serão tratadas através de processos matemáticos, de forma a ser possível emitir a velocidade máxima em cada um dos componentes (X, Y e Z) na interface da aplicação, permitindo o cálculo do PPV posteriormente.

## 1.1. Objetivos do trabalho

O objetivo principal deste trabalho é a realização de uma aplicação para iOS, direcionada para iPhone, que permitirá o registo de acelerações e permitirá, ainda, saber em tempo real a velocidade máxima em cada um dos componentes (X, Y e Z) para uma determinada vibração gerada num desmonte de rocha.

Para tal, recorreu-se à plataforma disponível para desenvolvimento de aplicações em iOS, nomeadamente ao *software Xcode*, optando-se pela linguagem de programação *Swift* para a referida programação.

Finalmente, ainda se pretende executar ensaios de campo com outros aparelhos de medição de vibrações e simultaneamente com o Iphone 6s, previamente instalado com a aplicação, para saber se a mesma é capaz de ler as vibrações geradas e se apresenta os valores das velocidades máximas de cada componente.

## 1.2. Organização dos temas abordados no relatório

Este relatório divide-se em 9 capítulos:

1. O capítulo 1 - Introdução, onde se pode ter uma noção da realidade do mundo da extração mineira e as condições exigidas às empresas relativas ao desmonte por explosivo, e finalmente, como a ideia deste trabalho surgiu.
2. O capítulo 2 - Vibração gerada por desmonte, explica os conceitos gerais de vibrações, explica ainda como são formadas e propagadas as ondas geradas num desmonte com recurso a explosivo.
3. O capítulo 3 – Equipamentos de medição de vibração: sismógrafos, onde se faz um breve resumo sobre os equipamentos usados para monitorização de vibrações.
4. O capítulo 4 - Tecnologia iOS, aborda todos os conceitos relativos à tecnologia da *Apple*, direcionada para iPhones e ainda nos apresenta o *software* e a linguagem de programação que foi utilizada para o desenvolvimento da aplicação.
5. O capítulo 5 - Desenvolvimento da aplicação, mostra-nos os passos essenciais da criação da aplicação, bem como, as linhas de código utilizadas para o desenvolvimento da mesma. Como adicional, explica-nos o tratamento que os dados sofrem após serem recolhidos e armazenados.
6. O capítulo 6 - Desenvolvimento do suporte, onde explica o porquê do desenvolvimento do suporte e como foi executado.
7. O capítulo 7 - Ensaio de campo, mostra e explica como foram executados os ensaios da aplicação e ainda os resultados obtidos.

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

8. O capítulo 8 - Discussão de resultados , onde se faz uma análise dos resultados obtidos.
9. O Capítulo 9 - Considerações finais, onde se descrevem as principais conclusões deste projeto.
10. O capítulo 10 - Trabalhos futuros, onde se dão algumas sugestões sobre trabalhos que podem seguir-se.

Ainda se apresentam a Bibliografia e os Anexos no final.

## 2. Vibração gerada por desmonte

### 2.1. Desmonte

Explorando o conceito de desmonte dentro da área de Engenharia de Minas, podemos referir que o mesmo se baseia numa operação de individualização, de redução de calibre dos blocos, entregues a processos posteriores, de forma a tornar acessível a substância útil. O desmonte de rocha efetua-se na frente de trabalho e engloba todas as operações necessárias à extração da substância mineral (Instituto Geológico Mineiro, 1999).

Segundo as ideias de José Gomes (Gomes, 2016), as operações que se realizam no período de desmonte correspondem a fragmentações e desagregações do maciço. Este processo ocorre porque o maciço rochoso possui uma tensão natural que, ao ser corrompida por tensões superiores, tende a ceder levando à fracturação do mesmo.

Outras considerações que não podem ser esquecidas são as noções relacionadas com o desmonte subterrâneo e desmonte a céu aberto. Em concordância com Rui Couto (Couto, 1990), as explorações a céu aberto podem antever-se mais simples equivocadamente. Como breve exemplo, temos que as explorações superficiais impõem *a priori* a necessidade de que as reservas do mineral sejam superiores ao gasto que se terá ao remover a rocha subjacente ao corpo mineral. Já no caso das explorações subterrâneas, torna-se crucial que a rocha seja competente o suficiente para permitir a edificação de um túnel de acesso ao mineral. No entanto, em ambos os casos é possível a utilização de explosivos para efetuar o desmonte, conforme as condições em que a operação mineira se encontre instalada.

## **2.2. Desmonte com recurso a explosivos**

O conceito de explosivo, segundo as ideias de J.A Sanchidrián e E. Muñiz (Sanchidrián & Muñiz), é muitas vezes visto como algo passível a produzir uma detonação. As substâncias presentes no explosivo são capazes de produzir uma detonação, através de uma detonação química, ocorrendo a libertação de energia química, na qual, a mesma, se transforma em energia potencial e térmica. Outra forma de designar um explosivo seria como sendo um material energético capaz de libertar uma grande quantidade de energia num tempo ínfimo.

Este tipo desmonte pode ser explicado de uma forma muito simples. Primeiramente o explosivo, devido à elevada pressão provocada pela detonação, fratura a rocha que se encontra na proximidade. De seguida, as ondas sísmicas de compressão que foram geradas pela detonação (este tópico será de extrema relevância como veremos no capítulo 2.3.1) propagam-se em todos os sentidos com uma velocidade constante. Finalmente, o gás da detonação penetra as fraturas que foram geradas no estágio dois e alarga-as. A pressão gerada pelo gás faz com que a massa entre o furo e a face livre ceda e seja empurrada para a frente (Gouvêa, 2011).

Existem inúmeras vantagens no uso de explosivos para a remoção de rocha, tanto em desmonte a céu aberto como em desmonte subterrâneo. Como refere Jorge Oliveira (Oliveira, 2009) temos, por exemplo, a rápida execução do desmonte e a viabilidade económica. No entanto, nem sempre é possível a sua utilização pois existe a obrigatoriedade de que alguns fatores se encontrem dentro de parâmetros pré-estipulados. Estes fatores, segundo William Hustrulid (Hustrulid, 1999), devem ser estudados previamente à execução do desmonte e são incontrolláveis. Referem-se alguns subsequentemente.

- ❖ Geologia;
- ❖ Tensões e propriedades do material;
- ❖ Descontinuidades estruturais;
- ❖ Condições do tempo;
- ❖ Presença de água;

Conforme os resultados obtidos desta investigação, poderá proceder-se ou não à utilização de explosivos.

Assumindo que todos os critérios, que vão muito além dos mencionados no capítulo anterior, não apresentam qualquer impedimento para o uso de explosivos, deve proceder-se à segunda fase do projeto na qual se englobam todas as decisões e otimizações relativas ao desmonte que se irá realizar. A pega de fogo que se irá realizar e o explosivo que irá ser selecionado depende essencialmente da granulometria pretendida, das projeções, do afastamento da frente dos produtos desmontados e volume que pretendemos desmontar (Daniel, 1999).

Sendo o objetivo principal deste trabalho as vibrações que irão ser registadas durante o desmonte e não como o desmonte é executado, de seguida aprofunda-se o tema das vibrações geradas em desmonte

### **2.3. Vibração gerada por desmonte com recurso a explosivo**

Como foi referido anteriormente, quando se utilizam explosivos como fonte primária para desmonte de rocha, existe a criação de ondas vibratórias. Estas ondas são uma das principais preocupações de um engenheiro aquando a execução do desmonte pois, se não forem devidamente controladas, podem causar danos irreversíveis (Miranda, Leite, Jesus, & Sobral, 2017).

O exemplo comum, quando pensamos numa detonação e nas vibrações por ela criada, é o caso da utilização de explosivos em áreas urbanas. Inúmeras questões podem ser colocadas, como por exemplo, se a detonação irá afetar a edificação que se encontra na zona envolvente.

A detonação de uma carga explosiva confinada induz no terreno uma quantidade considerável de energia sob a forma de pressão. Esta, por sua vez, gera tensões concêntricas ao furo, que são responsáveis pela formação de vibrações (Gomes, 2016).

Se nos debruçarmos sobre o ponto de vista mecânico podemos afirmar, segundo Vinícius Miranda *et al* (Miranda, Leite, Jesus, & Sobral, 2017) que uma vibração corresponde a um movimento oscilatório de uma partícula em redor de um ponto fixo, impulsionada por um estímulo. Em cada furo da pega de fogo ocorre este efeito e a sobreposição de todas as ondas geradas em cada furo levam ao desmonte da rocha. As ondas geradas podem ser catalogadas conforme a sua transmissão seja efetuada no interior do terreno – ondas de compressão (P) e ondas de cisalhamento (S) – ou na superfície do terreno – ondas de superfície (R) (Miranda, Leite, Jesus, & Sobral, 2017).

#### **i. Ondas de compressão (P)**

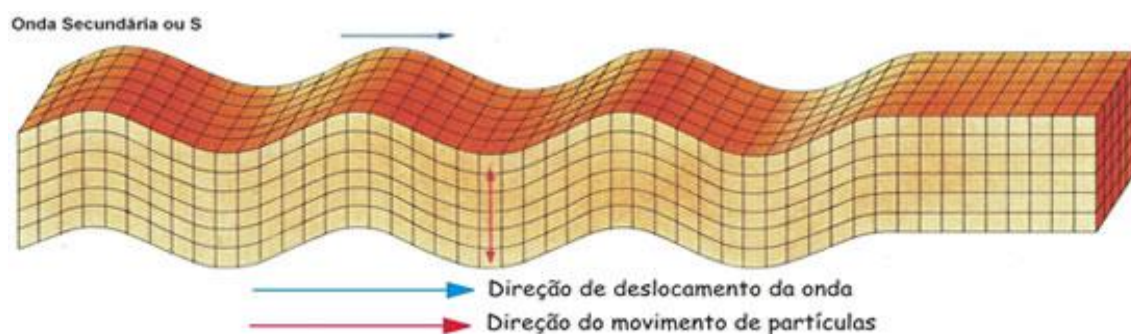
Este tipo de onda é denominado por P (“*primary*” ou “*pressure*”) é a primeira onda a ser detetada em qualquer lugar. Isto acontece, pois, são as ondas mais rápidas a propagarem-se e conseguem fazê-lo em qualquer meio: sólido, líquido e gasoso. Propagam-se produzindo no terreno uma deformação na longitudinal e apresentam pequenas amplitudes e altas frequências (Tomar, 2006/2007).

#### **ii. Ondas de cisalhamento (S)**

Este tipo de onda designa-se por S (“*secondary*” ou “*shear*”) e são as segundas ondas a ser detetadas. Esta onda apenas consegue deslocar-se no material rochoso, uma vez que os fluídos não suportam tensões de corte. Apesar de apresentar uma propagação mais

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

lenta que as ondas P (60% a 70% do valor de propagação das ondas P) (Gomes, 2016), é mais rápida que as ondas superficiais. Estas ondas deslocam-se transversalmente como mostra a Figura 1 (Tomar, 2006/2007).



**Figura 1 – Modo de propagação das ondas S (Geociências, s.d.)**

### **iii. Ondas de superfície (R)**

As ondas R ou de Rayleigh são consideradas ondas de superfície pois propagam-se principalmente à superfície da bancada. No entanto, podem propagar-se em qualquer interface do terreno, como as discontinuidades e contatos geológicos. Estas ondas superficiais formam-se através da transformação das ondas internas aquando do contato com alguma interface. Como apresentam uma grande amplitude e baixa frequência apresentam um caráter mais destrutivo (Gomes, 2016).

As ondas R apresentam o mesmo sentido que a direção de propagação e são ondas circulares em que o movimento das partículas se produz num plano vertical àquele em que se encontra a direção de propagação da onda. Em comparação com as ondas internas, estas ondas apresentam uma velocidade de deslocamento mais lenta (Tomar, 2006/2007).

#### **2.3.1. Amplitude de vibração e *Peak Particle Velocity***

A amplitude de vibração corresponde à distância de deslocação da partícula em relação à sua posição de repouso. As amplitudes máximas verificam-se sempre em picos e são referenciadas como PPV (*“peak particle velocity”*) ou PVP (pico de velocidade da partícula). A amplitude de vibração, bem como a frequência são determinadas por diversos parâmetros. O parâmetro mais importante, segundo Siskind (Siskind, 2000), relaciona-se com a quantidade de explosivos presentes *versus* o tempo de intervalo entre a detonação de cada furo. Ainda com extrema relevância para a amplitude de vibração gerada é o diâmetro do furo, a sequência de detonação, o afastamento, a carga total, a carga específica, a curva de libertação efetiva de energia, furos a disparar em simultâneo, entre outros (Siskind, 2000).



O pico de velocidade de partícula é um tema que merece ser um pouco mais aprofundado. Desta forma, de seguida, trata-se deste assunto, com breves conclusões sobre este fator.

### **i. Definição**

O PPV pode ser definido como sendo a velocidade máxima com que as partículas se deslocam ou atravessam um determinado local. É importante mencionar que o PPV se refere ao movimento dentro do solo (de partículas moleculares) e não ao movimento da superfície (Solutions, 2017).

### **ii. Norma Portuguesa NP 2074 de 2015 - Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas**

O PPV permite-nos então a análise dos efeitos provocados por qualquer tipo de vibração, e portanto, por um desmonte de rocha com recurso a explosivos. Como estas vibrações podem ser prejudiciais ao ser humano, bem como, às estruturas que o envolvem, torna-se necessário a sua monitorização.

Os resultados desta monitorização com o auxílio das normas definidas por cada país permitirão analisar os valores do PPV e perceber se determinada vibração teve ou terá algum efeito prejudicial.

Em Portugal, como exemplo, existe a norma portuguesa NP 2074 que nos remete para a avaliação da influência de vibrações impulsivas, ou seja, do uso dos explosivos e os danos que os mesmos podem causar (Aroeira, 2016).

Esta norma apresenta a fórmula correta para o cálculo do PPV (em Portugal) através da seguinte premissa: *“é o maior dos valores medidos durante o período que decorre o registo, sendo obtido através da seguinte expressão (Aroeira, 2016):*

Equação 1: Fórmula para cálculo do PPV (*Peak Particle Velocity*) (Aroeira, 2016)

$$V = \sqrt{V_L^2 + V_T^2 + V_V^2}$$

*Em que  $V_L$  corresponde a velocidade de vibração longitudinal;  $V_T$  à velocidade de vibração transversal e  $V_V$  à velocidade vertical de vibração.”*

Relembrando agora o nosso leitor que os resultados previstos para a aplicação desenvolvida ao longo deste projeto são precisamente os valores máximos nas componentes longitudinais, transversais e verticais, torna-se possível perceber que o cálculo do PPV é facilmente efetuado consoante a norma NP 2074.

Com relação à mesma norma, ainda são estabelecidos limites admissíveis para os parâmetros envolvidos nos fenómenos vibratórios. A NP 2074 diz-nos que o valor máximo admissível para o valor de PPV alcança 60 mm/s. Este valor incorpora um elevado fator de segurança, apenas justificável para a prevenção de danos superficiais

nas estruturas (Bernardo & Gama) e, no caso de medição dos danos em estruturas ou edifícios “*o transdutor de vibrações deve ser fixado (...) no máximo a 0,5 m do nível do terreno exterior*” (Aroeira, 2016).

### iii. Fórmulas para previsão do PPV

Uma vez conhecido o limite a respeitar (normas definidas por lei), com base no critério de prevenção de danos estruturais vigente, é necessário determinar a lei de atenuação das vibrações adequada ao local. Esta “lei” consiste numa expressão matemática que permite estimar o valor da velocidade da partícula.

Assim, ao longo dos anos o PPV tem sido investigado de forma a obter-se uma equação (lei de atenuação) que forneça o resultado mais preciso possível. A primeira equação significativa que permitiu o cálculo do PPV foi proposta pelo Departamento de Minas dos Estados Unidos (USBM) (Hosseini & Baghikhani, 2013). Existem também preditores modificados de outros investigadores ou instituições como Ambraseys e Hendrn, Langefors e Kihlstrom, Gosh e Daemen, Roy, Sigh et al, algumas das quais descritas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Algumas equações que permitem o cálculo do PPV (Hosseini & Baghikhani, 2013)**

Instituição / Investigadores	Equação
USBM	$PVV = K \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-B}$
Ambraseys and Hendron	$PVV = K \left[ \frac{R}{\sqrt{Q}} \right]^{-B}$
Gosh and Daemen 1	$PVV = K \left[ \frac{R}{\sqrt{Q}} \right]^{-B} \cdot e^{-Ba}$

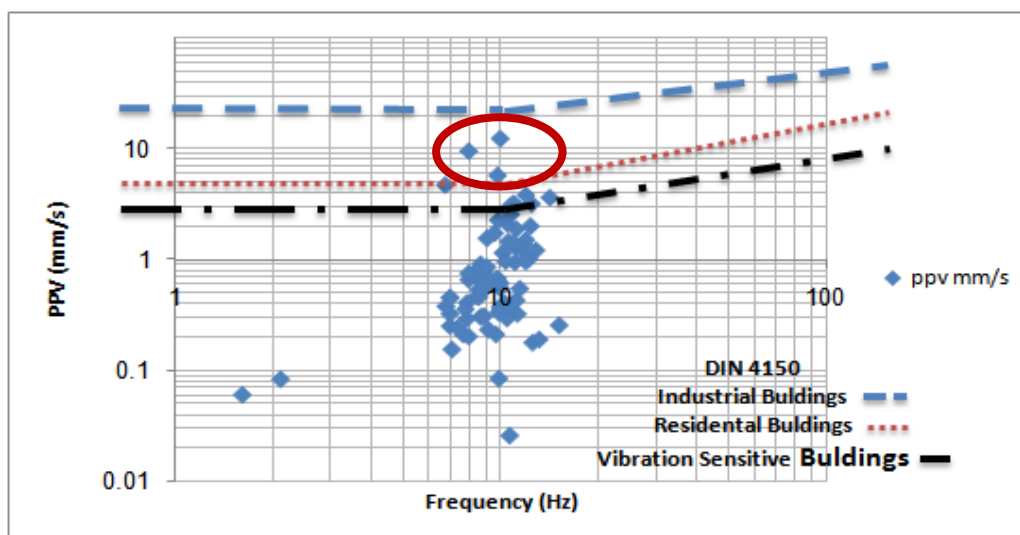
Onde B e  $\alpha$  são constantes determinadas por regressões, K é o fator de rocha e depende das características das rochas em estudo (diáclases, fraturas, densidade, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, presença de fluidos etc.), R é a distância entre o ponto de monitorização até à superfície de desmonte em metros e, finalmente, Q é a carga máxima detonada (kg) (Lima, 2001).

Existe então a necessidade de se fazerem medições de forma a alcançar a lei de atenuação mais concisa possível. Se o terreno em estudo apresentar baixos índices de dispersão (terrenos homogéneos), é possível obter-se uma equação viável com um pequeno número de medições. Pelo contrário, se o terreno apresentar formações geológicas heterogéneas será necessário diminuir a influência dos valores discrepantes de forma a obter uma reta de regressão com coeficientes de ajuste no mínimo de 85%, e para isso são necessárias mais medições que o caso anterior (Lima, 2001).

Desta forma e conforme os dados que são recolhidos em vários ensaios de controlo de vibração e a substituição dos valores de K, B e  $\alpha$  (obtidos através de regressões com os resultados desses mesmo ensaios) e Q e R pelos respectivos valores é possível obter uma equação exequível que permitirá prever o PPV para uma determinada frente de desmonte e, dessa forma, poder extrapolar a carga máxima que se poderá usar.

#### iv. Conclusões sobre o PPV

É possível usar o valor obtido no cálculo do valor do pico de velocidade da partícula para vários fins (Hosseini & Baghikhani, 2013). No entanto, uma das suas utilidades será a possibilidade de confirmação de que o PPV se encontra dentro do valor estandardizado por lei. Cada país apresenta as suas próprias legislações, por isso, estes valores variam conforme a situação. Desta forma, o Engenheiro deve encontrar-se sempre dentro das normas do país em que opera. Como exemplo, temos a Figura 2 que nos mostra o PPV calculado para 78 explosões efetuadas na mina de calcário *AlvandQoly*, Iraque (Hosseini & Baghikhani, 2013).



**Figura 2 – Avaliação dos valores do PPV de acordo com o critério DIN 4150 (Hosseini & Baghikhani, 2013)**

Neste caso específico foi usada a norma DIN 4150 para avaliação dos valores do PPV, mas, no entanto, a sua interpretação pode ser vista globalmente. De uma forma geral, os diagramas padrão dizem-nos que 95% das estruturas que são atingidas por uma determinada vibração com duração de uns segundos, com componentes em que o PPV se situa abaixo da linha divisória que define esse mesmo padrão, não sofrem qualquer tipo de dano. Ou seja, as vibrações permitidas por lei permanecem inferiores às linhas centrais e as vibrações não permitidas encontram-se acima dessas mesmas linhas.

Partindo então para este caso em particular, pode-se dizer que todos valores de PPV que se encontrem acima das linhas assinaladas a tracejado vermelho e azul se encontram fora do permitido pela norma DIN 4150. E tal como é possível observar, alguns valores do PPV encontram-se acima dos valores normalizados, pela norma DIN 4150. Estes valores específicos são essenciais para determinar que a vibração criada pelo desmonte

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

provoca danos nos edifícios residenciais, apesar de não chegar a provocar riscos nos edifícios industriais.

Podemos assim concluir que este fator permite-nos avaliar os riscos de um desmonte com uso de explosivo. Conforme a dimensão da vibração (amplitude, frequência, etc.) este valor poderá aumentar ou diminuir. Desta forma, conforme os registos e análise das vibrações geradas após a pega de fogo, o Engenheiro responsável pela mesma poderá concluir se o desmonte foi prejudicial ou, caso tenha ocorrido alguma perturbação nas zonas envolventes, saber se foi o responsável.

#### **v. Normas a nível mundial**

Para além da norma Portuguesa referenciada, que nos define os equipamentos que devem ser usados para medição de vibrações (capítulo 1) e, ainda os limites que não devem ser ultrapassados (capítulo 2.3.1), existem outras normas em Portugal e noutros países que pretendem garantir a segurança de toda a área que pode ser influenciada por algum tipo de vibração impulsiva. Alguns dos padrões que serão referenciados de seguida não estabelecem limites específicos em PPV de vibração, mas concentram-se em procedimentos adequados para medir e analisar dados de vibração (Damage, Vibration Standards , 2017).

- ❖ Austrália - 2187.2
- ❖ Brasil - NBR 9655
- ❖ Republica Checa - ČSN 73 0040
- ❖ França - GFEE
- ❖ Alemanha - DIN 4150
- ❖ Índia - IBS/ISO 4866
- ❖ Nova Zelândia - NZS/ISO 2631-2, 4403
- ❖ Eslovénia - DIN 4150
- ❖ Espanha - UNE 22381
- ❖ Suécia - SS 25211

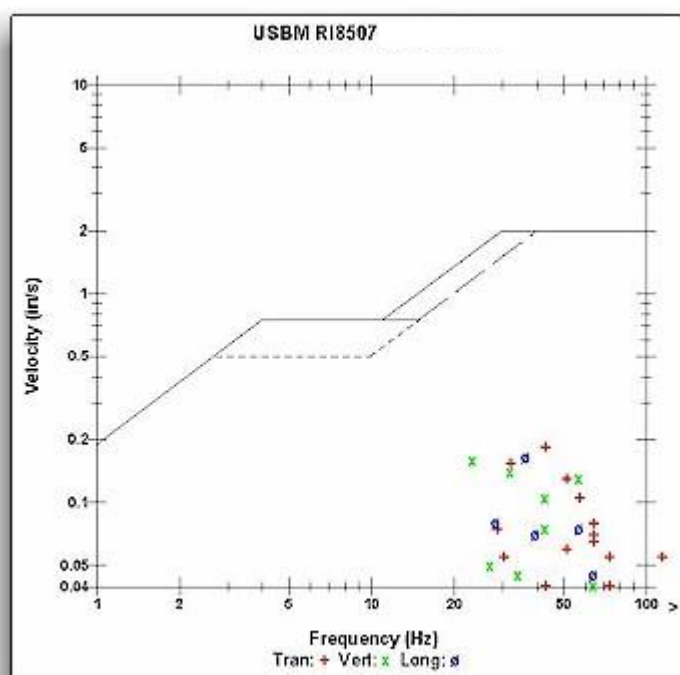
### **2.3.2. Frequências de vibração**

As vibrações que atravessam o solo não são meras ondas simples e regulares, mas sim algo mais complexo. Os sinais captados por instrumentos de medição de vibração podem ser matematicamente analisados de forma a, posteriormente a essa análise, fornecerem ondas com diferentes frequências, intensidades e relações de fase (Damage, Vibration Frequencies, 2017).

Essa “análise matemática” que permite determinar os componentes da frequência pode ser executada através do método da Transformada de Fourier (FFT). Esta transformada “ajusta” a onda criada aquando da vibração do solo a um conjunto de componentes de frequências de forma a obter-se uma análise completa das frequências e intensidades de onda que contribuíram para a vibração.

As normas referidas anteriormente (capítulo 0) definem que os danos provocados por uma vibração também estão diretamente ligados com a frequência da onda gerada.

Como modelo exemplificativo da premissa anterior, na Figura 3, encontra-se o critério USBM RI8507 que mostra a relação das frequências com o PPV. É possível analisar que o limite permitido para o PPV é muito inferior quando se apresentam frequências menores. Normalmente, frequências menores provocam danos maiores, por isso, quando o Engenheiro se encontra perante este tipo de frequências é importante que o PPV seja reduzido para evitar qualquer tipo de prejuízo (Damage, Vibration Frequencies, 2017).



**Figura 3 – Critério USBM RI 8507 para desmonte de rocha com recurso a explosivo: PPV vs Frequência (Damage, Vibration Standards , 2017)**

Em relação à Figura 3 – Critério USBM RI 8507 para desmonte de rocha com recurso a explosivo: PPV vs Frequência , pode-se acrescentar que a maioria das normas estabelecidas nos diferentes países pretendem correlacionar os danos potenciais que a vibração causa com frequência da onda. Habitualmente, frequências inferiores a 40 Hz têm um impacto maior, pois interagem com a vibração natural do solo (ressonância), o que faz com que essas vibrações se “somem”, aumentando os níveis de vibração – amplificação da vibração (Damage, Vibration Frequencies, 2017).

As frequências que podem ser atingidas num desmonte de rocha com recurso a explosivo variam, normalmente, entre os valores de 0,5 Hz a 200 Hz (DOWDING, 1985). No entanto, as explosões em larga escala tendem a produzir frequências menores, sendo estas mais destrutivas (DOWDING, 1985). Desta forma e de acordo com o referido anteriormente é necessário que, durante um desmonte de rocha com uso de explosivo, o PPV se mantenha em níveis reduzidos.



### 3. Equipamentos de medição de vibração: sismógrafos

Existem múltiplos equipamentos capazes de monitorizar as vibrações provenientes de uma pega de fogo. Estes instrumentos são capazes de o fazer pois quando ocorre a passagem da vibração, as partículas do solo deslocam-se em várias direções, até retomarem o repouso novamente. O movimento exercido pelas mesmas é então registado em três direções perpendiculares (Gomes, 2016).

Normalmente estas ferramentas consistem em transdutores que convertem o deslocamento, velocidade, aceleração ou a deformação em sinais elétricos. Estes sinais elétricos são, posteriormente, conduzidos para um sistema de amplificação e armazenamento (Gomes, 2016).

De seguida iremo-nos debruçar um pouco sobre o tema referente aos sismógrafos.

#### 3.1. Princípio de funcionamento

Um sismógrafo é um aparelho que nos permite descodificar as vibrações emitidas durante a pega de fogo. O seu princípio de funcionamento, numa forma geral, baseia-se na primeira lei de *Newton*<sup>1</sup>. O peso, representado na Figura 4 por P, mantém-se estável

---

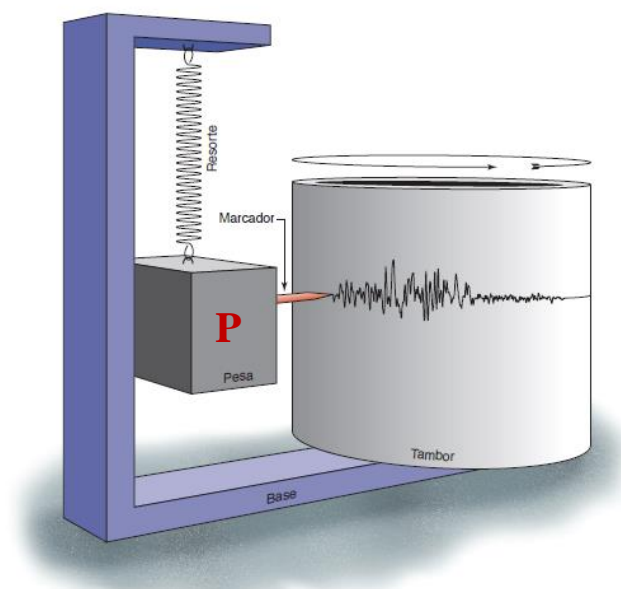
<sup>1</sup> Esta lei define o conceito de que se um objeto se encontra em repouso, assim permanecerá a não ser que alguma força atue sobre ele.

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

até que alguma força (vibração) provoque o seu movimento. Entretanto, o tambor encontra-se em movimento, pronto para registrar qualquer informação passível de acontecer (Incorporated Research Institutions for Seismology).

Por outras palavras, podemos caraterizar o sismógrafo como sendo um sensor e um sistema de registo que permite, através de representação em papel ou em computador, efetuar e memorizar as medidas e reproduzir graficamente o resultado (dBi, s.d.).

O produto propriamente dito de um sismógrafo é um sismograma. Este vai providenciar-nos as caraterísticas das diferentes ondas geradas na pega de fogo. Enquanto o sismógrafo se encontra em período de repouso (ou seja, não sofre qualquer tipo de perturbação) o sismograma apresenta-se sob forma de uma linha reta. Quando ocorre alguma vibração (induzida ou natural) o sismograma apresenta oscilações mais ou menos acentuadas, conforme a magnitude da vibração (dBi, s.d.).

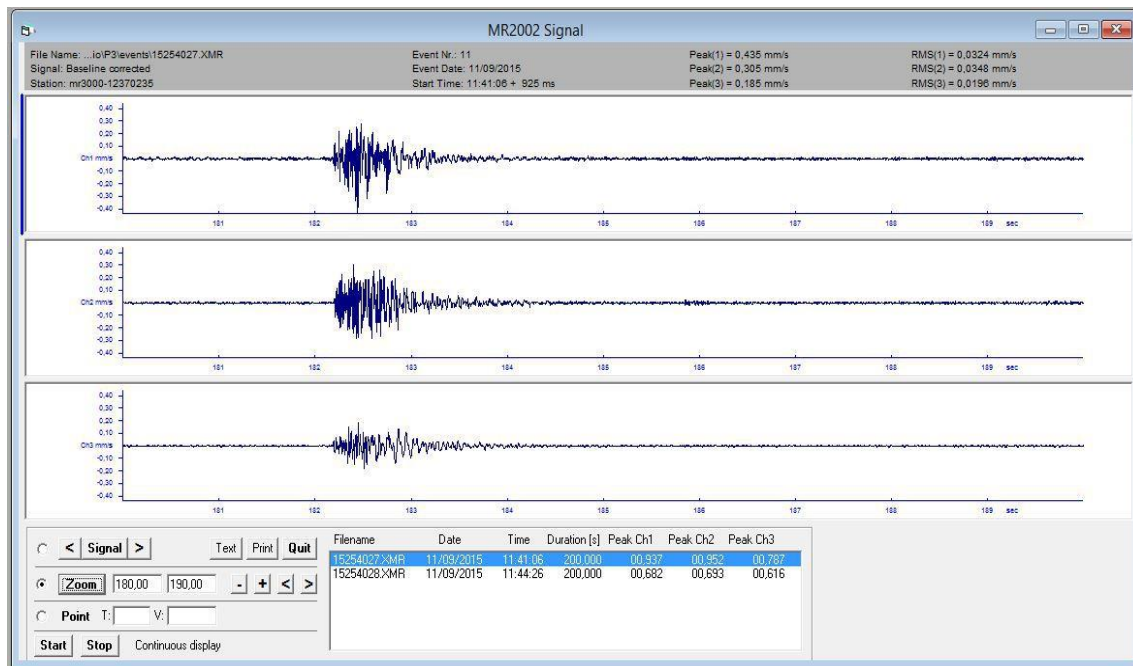


**Figura 4 – Princípio de funcionamento de um sismógrafo  
(Incorporated Research Institutions for Seismology)**

Convém ter em mente que qualquer observação sobre o sismograma deve ter como referência o facto de este ser um fenómeno oscilatório não periódico, que só pode ser compreendido em termos cíclicos (sinusoidais) depois de uma análise espectral de Fourier (capítulo 2.3.2)

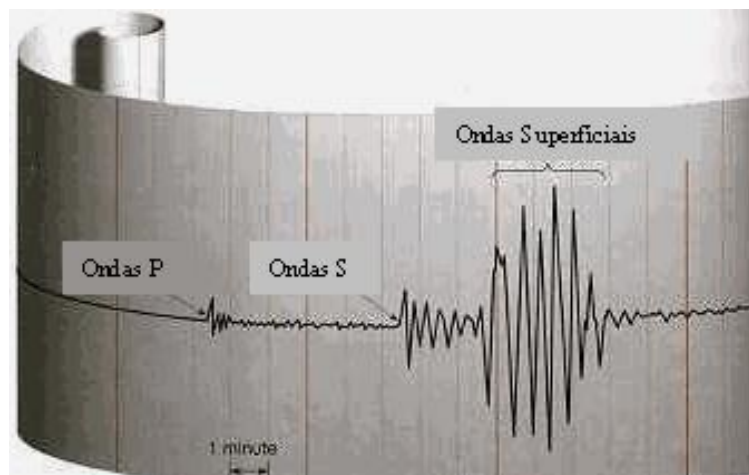
Retomando ao assunto anterior, temos que os sismogramas nos apresentam os seus resultados sob a forma de ondas, como é facilmente perceptível pela Figura 5 que, convenientemente, é o registo (segundo três direções ortogonais) das vibrações geradas após uma detonação numa pedreira (dBi, s.d.).





**Figura 5 - Registo das vibrações resultantes da detonação numa pedreira (dB, s.d.)**

Existem três tipos de ondas registadas após um desmorte, como foi visto anteriormente. A título de curiosidade, na Figura 6, podemos ver como estas seriam registadas num sismograma.



**Figura 6 – Registo num sismograma das ondas P, S e R (Lnec, 2005)**

As ondas P seriam as primeiras a ser registadas, com baixas amplitudes. De seguida, surgiriam as ondas S (as segundas a serem detetadas). E finalmente, seriam escrituradas as ondas superficiais R., com altas amplitudes.

### 3.2. Principais características

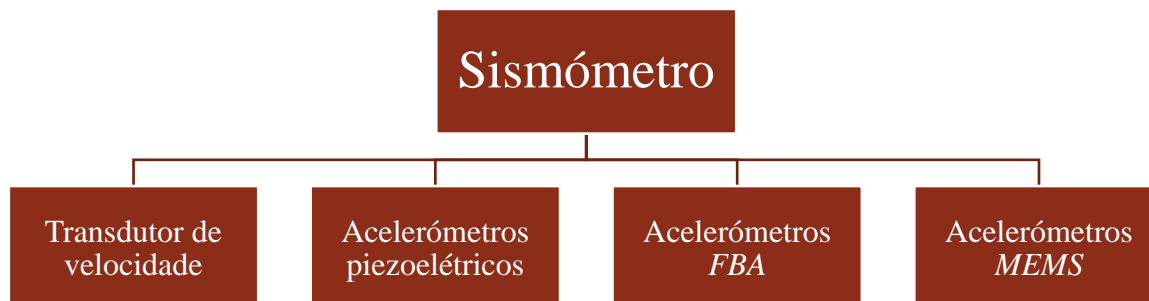
Um sismógrafo pode apresentar várias características, como por exemplo:

- ❖ **Gama de frequência:** intervalo de frequências que pode ser medido pelo sensor.
- ❖ **Sensibilidade:** é a expressão do menor sinal que pode ser medido pelo instrumento.
- ❖ **Gama dinâmica:** é a razão entre o maior e o menor sinal que um sensor pode medir.
- ❖ **Linearidade e gama de medida:** idealmente deseja-se um sensor que a saída se comporte linearmente relativamente à vibração que está a medir. A gama linear do sensor é a gama de medida do sismógrafo.

### 3.3. Estrutura do equipamento

O sismógrafo é constituído por várias partes, sendo uma das principais o sismómetro. Este objeto funciona como um sensor e indica o deslocamento do solo (dBi, s.d.).

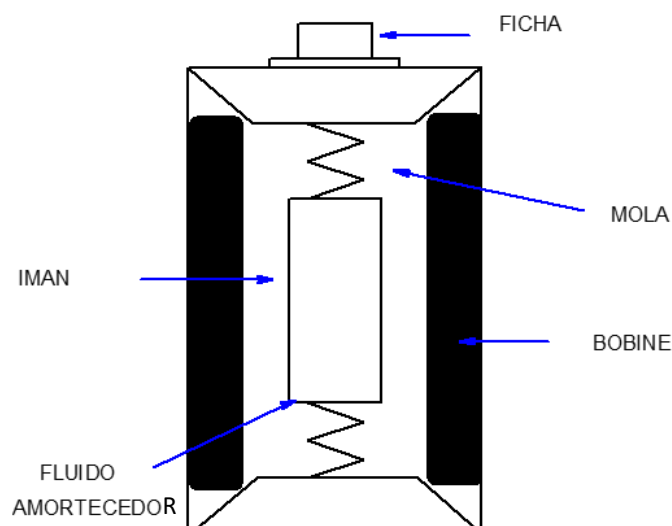
Neste ponto, podemos ramificar os sismómetros da seguinte forma:



Debrucemo-nos então sobre um pouco sobre cada um dos sensores que se podem encontrar presentes num sismógrafo.

#### 3.3.1. Transdutor de velocidade

Este tipo de sensores possui normalmente uma bobine e um íman, devidamente posicionados como nos mostra a Figura 7. Este íman encontra-se fixo à armação do transdutor por uma mola de forma a permitir o seu movimento. Será então gerada uma tensão que será proporcional à velocidade relativa entre a bobine e o íman (dBi, s.d.).



**Figura 7 – Constituintes de um transdutor de velocidade (dBi, s.d.)**

Antes de continuarmos o nosso estudo podemos referir que, de uma forma bastante rudimentar, o acelerómetro serve para medir a aceleração (em relação à gravidade) sobre os objetos. Sabendo a aceleração torna-se, então, possível descobrir as forças aplicadas sobre o mesmo. (Prada, 2009).

### 3.3.2. Acelerómetros piezoelétricos

Os acelerómetros mais comuns são do tipo piezoelétrico. Neste tipo de acelerómetros a carga elétrica gerada é proporcional à aceleração a que estão sujeitos (dBi, s.d.). Basicamente, este tipo de acelerómetros são um sistema massa, mola e amortecedor.

### 3.3.3. Acelerómetros *Force Balance* (FBA)

Este tipo de acelerómetro, denominado de *Force Balance*, utiliza um transdutor de deslocamento<sup>2</sup>. O modo de funcionamento deste sensor baseia-se na montagem de duas placas fixas com uma placa móvel no seio das mesmas. Quando a placa móvel se desloca desencadeia no transmissor uma corrente que, através de um ciclo que pretende contrariar o efeito da corrente (com auxílio de uma resistência), tenta impedir o movimento da placa. Como esta corrente é linearmente proporcional à aceleração do solo, é possível medir a aceleração através da voltagem da resistência (dBi, s.d.).

---

<sup>2</sup> Condensador de placas paralelas fixas apresentando uma placa móvel entre elas.

### 3.3.4. Acelerómetros *MEMS*

Este tipo de acelerómetro será o mais relevante neste relatório. Desta forma, de seguida, esmiúça-se este tema.

*MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)* são, resumidamente, elementos que se encontram inseridos dentro de um minúsculo chip. Estes elementos podem pertencer a várias áreas, como por exemplo engenharia mecânica, ciência dos materiais, física e química. Dentro desse chip encontram-se gravadas informações que permitem a sua reação a estímulos externos e naturais (Junior, 2009).

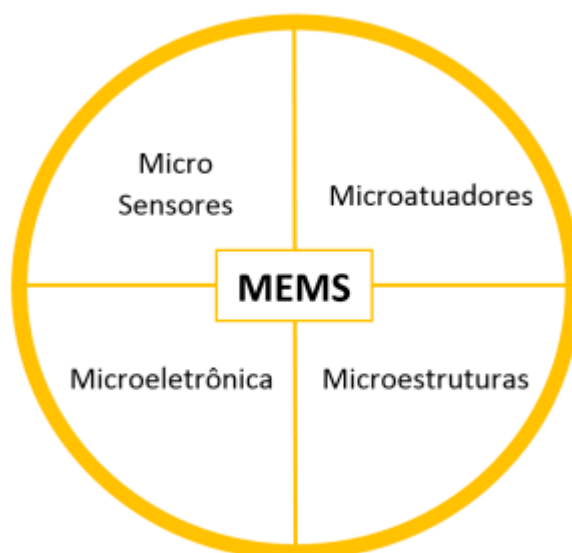
Como termo de comparação podemos usar as células que se encontram no nosso corpo. Cada célula contém uma informação pré-determinada e apresenta determinadas características. Ou seja, se uma célula tem como função, por exemplo, determinar uma diferença de temperatura, existe um sistema eletromecânico que deteta a variação da temperatura de forma a influenciar a célula a executar a sua função (Junior, 2009).



**Figura 8 – Exemplo de um sensor MEMS (Torres H. , 2014).**

De um ponto de vista mais geral, os MEMS funcionam como os sentidos humanos (usando as propriedades mecânicas do silício), acrescentando olhos e ouvidos aos dispositivos tradicionais que apenas funcionavam através das propriedades elétricas do silício (Torres H. , 2014).

Estes sistemas são, de uma forma geral, constituídos pelos elementos representados na Figura 9.



**Figura 9 - Elementos constituintes da tecnologia MEMS (Torres H. , 2014).**

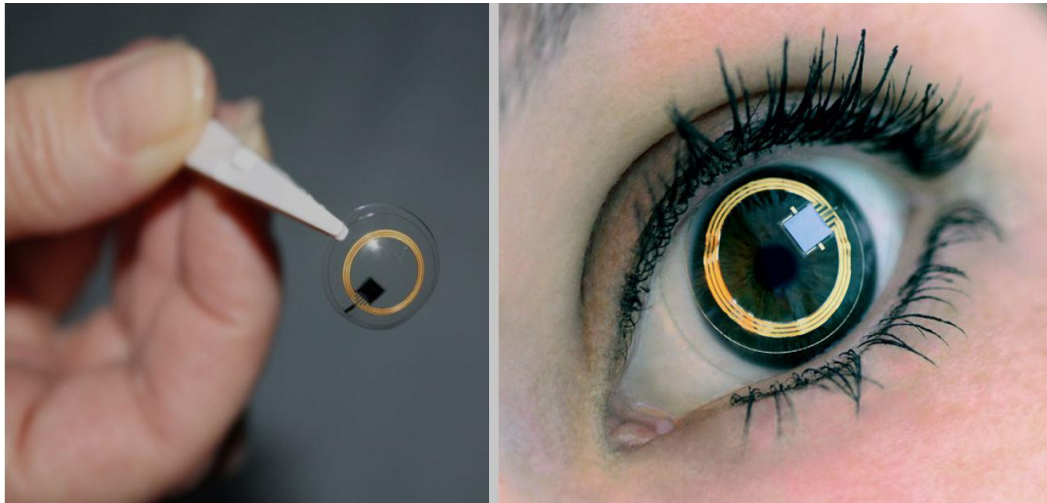
Todos estes elementos estão relacionados entre si e funcionam em cadeia. Inicialmente os micro sensores detetam as mudanças físicas do meio (mecânicas, térmicas, químicas ou eletromagnéticas) e convertem essas mudanças num sinal elétrico. Após esta deteção, a microeletrônica irá processar essa informação e acionará os microatuadores para que estes possam criar uma resposta. Nesta fase, os microatuadores convertem o sinal elétrico em energia mecânica. Dependendo do mecanismo de sensibilidade, estes transdutores (micro sensores e microatuadores) podem ser mecânicos, térmicos, químicos ou de radiação (Torres H. , 2014).

Estes dispositivos são criados através da manipulação do silício e outros elementos com mecanismos de microfabricação. Realiza-se a integração de estruturas mecânicas, sensores, entre outros componentes, tornando possível a produção de sistemas complexos a níveis microscópicos (Torres H. , 2014).

Os dispositivos onde os MEMS se encontram instalados podem apresentar apenas 0,02 milímetros. No seu interior, os sensores MEMS apresentam estruturas muito reduzidas, compreendidas entre 0,001 e 0,1 milímetros (Junior, 2009).

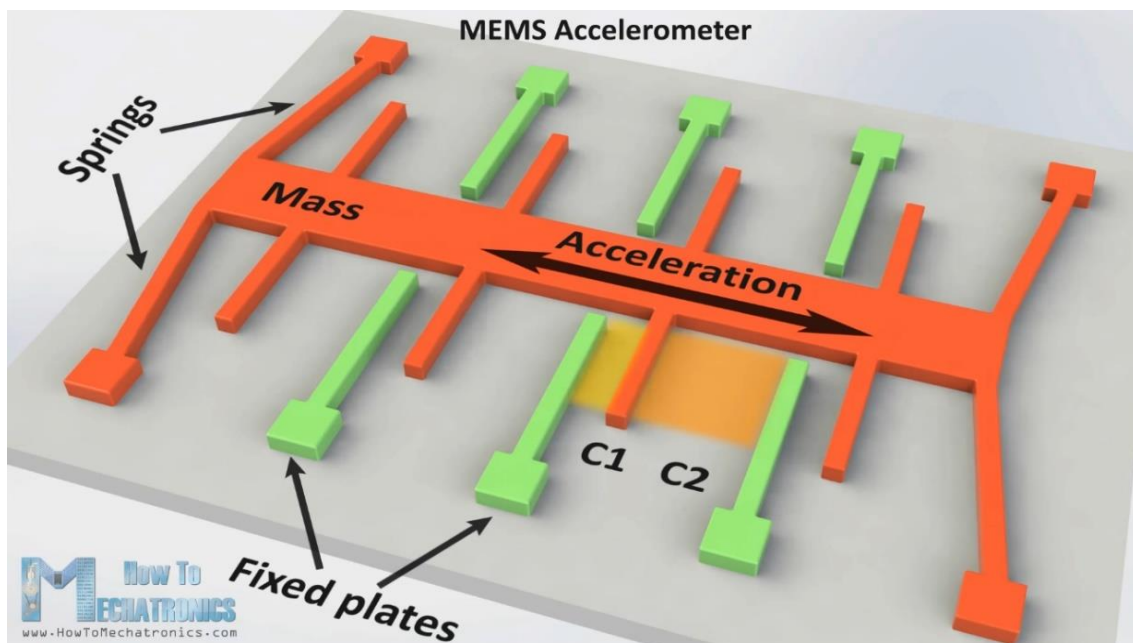
Os Sistemas Microeletromecânicos são utilizados em vários setores da indústria. Como exemplo, temos o uso no que mais se enquadra no âmbito deste trabalho: os telemóveis. No entanto, existe toda uma gama de locais onde os mesmos são utilizados, como por exemplo em (Torres H. , 2014):

- ❖ Sistemas de orientação de mísseis;
- ❖ Sensores de pressão arterial;
- ❖ Próteses;
- ❖ Sensores de sistemas *airbag*;
- ❖ Sensores internos de navegação;
- ❖ Monitorização da pressão intraocular (Figura 10);



**Figura 10 – Sensor “Sensimed’s Triggerfish™ implantable MEMS IOP”  
(Sensimed, s.d.)**

Os MEMS que constituem um acelerómetro medem a aceleração medindo as diferenças nos condensadores e têm um aspeto semelhante ao ilustrado na Figura 11.



**Figura 11 – Sistemas Microeletromecânicos de um acelerómetro  
(Mechatronics, 2017)**

São compostos por uma massa, ligada a uma mola, que está confinada a mover-se numa direção apenas. Quando se aplica uma aceleração numa direção particular, a massa irá mover-se e a capacidade entre os condensadores C1 e C2 da Figura 11 irá mudar. Esta



mudança nos condensadores irá ser medida, processada e corresponderá a uma medida específica de aceleração (Sanchez, 2014).

Para terminar este subcapítulo é importante referir ainda que existem acelerómetros com características diferenciadas que nos permitem optar pelo sensor que se mostra mais adequado aos objetivos finais que pretendemos. Temos a escolha dentro de algumas características, como por exemplo (Universidade Federal de Ouro Preto, 2013):

- ❖ **Quantidade de eixos:** existem sensores com duas opções – 2 eixos (x,y) ou 3 eixos (x,y,z). O último caso encontra-se direcionado para aplicações com posicionamento espacial.
- ❖ **Medida máxima:** no caso de apenas se pretender fazer medições em relação à gravidade da terra, um acelerómetro 1,5g é o adequado. Por outro lado, se se pretender medir movimentações e variações com precisão mais adequada, como por exemplo, um carro em deslocação, deve-se usar um sensor com  $\pm 2g$ . Quanto maior o sensor, maior a precisão obtida.
- ❖ **Sensibilidade:** esta característica diz-nos a taxa de variação do sinal de saída de acordo com aceleração sofrida. Quando maior sensibilidade, mais facilmente são detetadas variações (menores) do sinal, tornando a medição mais precisa (Rocha & Marranghello, 2013).

### 3.4. Ficha técnica do Instantel® Minimate Pro 6

Aprofundando um pouco mais este assunto, de seguida apresenta-se uma ficha técnica de um sismógrafo que nos será bastante útil em capítulos futuros deste relatório (capítulo 7), para a execução do projeto. Desta forma, para além de conhecer o equipamento, ficará a conhecer características que se podem procurar aquando a aquisição de um aparelho, os serviços que o sismógrafo pode oferecer, entre outros assuntos de elevado interesse.

Este sismógrafo foi escolhido por ser amplamente usado na indústria, de acordo com o Engenheiro Francisco Leite em entrevista realizada no mês de Junho do presente ano (2017).

Pertence à marca *Instantel®* e é da gama *Minimate Pro* correspondente à versão 6 (Figura 12). Esta gama corresponde à linha da *Instantel®* com monitores mais versáteis e que possuem tecnologia avançada de monitoramento (Instantel, s.d.).

Avancemos então para o equipamento propriamente dito. A ficha técnica que se apresenta no Anexo A, relativa a este sismógrafo, foi retirada do *web site* da *Instantel®* (2017).



**Figura 12 – Sismógrafo Instantel ® Minimate Pro 6 (Instantel, s.d.)**

**Tabela 2 – Algumas características técnicas no sismógrafo Instantel ® Minimate Pro 6**

<b>Gama de frequências</b>	2 – 250 Hz
<b>Precisão</b>	+/- 5 %
<b>Resolução</b>	0,0078 mm/s
<b>Gama de leitura</b>	Até 254 mm/s

Para além das características técnicas referidas na Tabela 2 e das apresentadas no Anexo A, é possível salientar alguns aspetos realçados no *web site* oficial da *Instantel* (Instantel, s.d.), tais como:

- ❖ Apresenta seis canais de gravação com a escolha de dois geofones triaxiais (ISEE ou DIN) ou um geofone triaxial e um microfone ISEE.
- ❖ Taxas de amostragem de 512 a 65 S/s por canal, independentemente dos tempos de gravação.
- ❖ A monitorização contínua significa que não existe tempo “morto” entre eventos, mesmo quando a unidade está a processar (ou seja, não existe perda de informação).
- ❖ Regista eventos com ondas completas com uma duração superior a duas horas.
- ❖ Encontra-se dentro das normas impostas pela *International Society of Explosives Engineers* relativas às especificações que um sismógrafo usado para medir vibrações de explosões deve ter.



## 4. Tecnologia iOS

Neste capítulo vamos abordar a tecnologia iOS pois esta tecnologia engloba o iPhone 6s (que foi utilizado para os ensaios do campo) e todo o código que foi “escrito” para a criação da aplicação pertence ao conceito da tecnologia iOS.

A tecnologia iOS baseia-se num sistema operacional móvel, pertencente à *Apple* desenvolvido, inicialmente, para iPhone. A interface do utilizador é fundamentada num conceito de manipulação direta, através de gestos e múltiplos toques.

Existem várias plataformas, para além de iOS, que nos permitem desenvolver aplicações e apresentam uma comunidade de código aberta, tais como o *Android*, *Blackberry* e *Symbia*. No entanto, e dando como exemplo, a tecnologia *Android*, esta plataforma permite-nos ter acesso ao código aberto desenvolvido pela Google e ainda nos permite englobar a tecnologia *Android* nos dispositivos, mas, por sua vez, os mesmos não contêm necessariamente acelerómetros ou GPS incorporados. Em síntese, a escolha pela *Apple* incide na sua vantagem em relação à distribuição de aplicações; pelo facto de ter sido pioneira no que toca à criação de uma plataforma onde é possível descarregar aplicativos *online*, nomeadamente a *App Store* e apresenta facilidade na integração de novos programadores (desde documentação a taxa de inscrição baixa) (Grunsky, 2010).

Os capítulos seguintes remetem-nos para uma síntese das características do *iPhone 6s*, aprofundando o tema dos acelerómetros que se encontram incorporados nos mesmos e, de seguida, direciona-nos para a apresentação da linguagem de programação que será utilizada para o desenvolvimento da aplicação juntamente com o programa onde esta será desenvolvida.

#### 4.1. iPhone 6s

O iPhone tornou-se numa marca com extrema importância no nosso mercado. Ao longo de vários anos, a *Apple*, lançou novos modelos de iPhone até que, em 9 de setembro de 2015, lançou um modelo pertencente à nona geração – o iPhone 6s (Figura 13).



**Figura 13 – iPhone da gama 6s da marca *Apple* (Apple, 2017)**

Para proporcionar algum conhecimento sobre o dispositivo com o qual iremos trabalhar encontram-se, na Tabela 3, as principais características do mesmo.

**Tabela 3 – Características principais do iPhone 6s (Apple, 2017)**

Caraterísticas		
Corpo	Dimensões	138,3 x 67.1 x 7.1 mm
	Peso	142g
Ecrã	Tipo	Retina HD com 3D Touch
	Tamanho	4.7 polegadas
	Resolução	1334x750 pixels
Plataforma	OS	OS 9
	Chip	Apple A9
	CPU	1.8 GHz Dual Core

<b>Memória</b>	Interna	128 GB
<b>Sensores</b>	-	“Fingerprint”, <b><u>acelerómetro de 3 eixos</u></b> , giroscópio, proximidades, de luz, barómetro
<b>Bateria</b>	Em <i>stand-by</i>	Até 250h

## 4.2. Acelerómetros presentes no iPhone 6s

Como podemos reparar o acelerómetro de 3 eixos encontra-se destacado na tabela do capítulo anterior. Este facto serve para realçar que, efetivamente existe no dispositivo o sensor essencial para a deteção das vibrações que serão geradas no desmonte de rocha. Desta forma, remete-nos para a necessidade de uma abordagem mais pormenorizada em relação ao acelerómetro presente no iPhone 6s nomeadamente o acelerómetro BMA-280 Bosch Sensortec (Apple, 2017).

Os acelerómetros introduzidos na maioria dos telemóveis de última geração, incluindo o iPhone 6s, são capazes de ler até três coordenadas (X, Y e Z), como se encontra representado na Figura 14 (Prada, 2009).

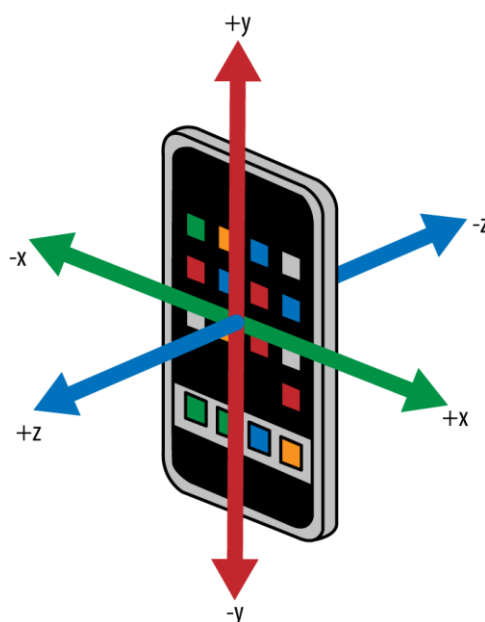


Figura 14 – Coordenadas analisadas por um acelerómetro triaxial (Prada, 2009)

Quando se coloca o dispositivo na horizontal, sobre uma superfície plana, as medições no plano xOy serão zero. Este fenómeno apenas é possível porque a gravidade é a única força exercida, na perpendicular. Por outro lado, a direção Z (que será vertical), será diretamente afetada pela gravidade, pelo que irá apresentar um valor (de 1 ou -1 conforme a direção do ecrã) que se encontra diretamente relacionado com a aceleração gravítica ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) (Apple, 2017).

A cada nova geração de *iPhones*, a *Apple* atualiza e melhora todos os componentes presentes nos mesmos, sendo que os acelerómetros não são exceção. O iPhone original, pertencente à primeira geração, incorpora um acelerómetro LIS302DL baseado em MEMS de 3 eixos, produzido pela STMicroelectronics. Com o passar dos anos, existiu uma atualização do sensor para um chip parecido, fabricado pela STMicroelectronics, com designação LIS331DL e, finalmente, na nona geração, juntaram-se à Bosch para uma nova linhagem de acelerómetros - Tabela 4 (Allan, 2017).

**Tabela 4 - Modelos de acelerómetros introduzidos em diferentes gerações de iPhones (Allan, 2017).**

Equipamento	Modelo do Acelerómetro	Fabricante
<i>iPhone original</i>	LIS302DL 3-axis MEMS	STMicroelectronics
<i>iPhone 4, iPhone 5 e iPhone 5s</i>	LIS331DL	STMicroelectronics
<i>iPhone 6 e iPhone 6s</i>	BMA-280	Bosch

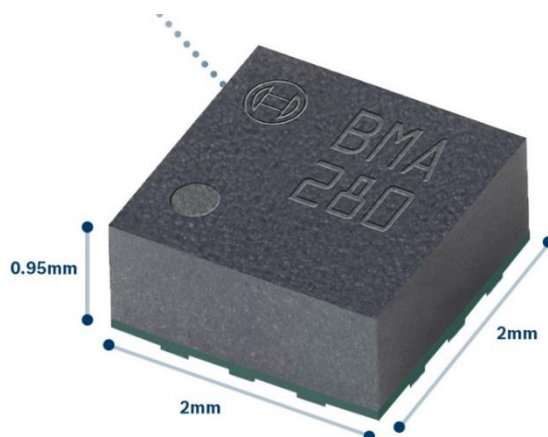
No caso do iPhone 6s, o equipamento apresenta dois sensores diretamente relacionados com a medida de acelerações. O acelerómetro propriamente dito, modelo BMA-280 Bosch Sensortec e um modelo com dupla função que funciona como acelerómetro e giroscópio (ver capítulo 4.2.2): modelo *MPU-6500* da marca *TDK InvenSense*. Estes sensores são denominados por MEMS (ver capítulo 3.3.4) - Sistemas Microeletromecânicos (Dixon-Warren, 2014).

É importante referir ainda que no caso da aplicação o sensor que é acedido é o modelo Bosh Sensortec, sendo este o acelerómetro principal do iPhone 6s.

Assim, no capítulo seguinte, iremos aprofundar as características técnicas destes dois sensores.

#### 4.2.1. BMA-280 Bosch Sensortec

Torna-se essencial saber um pouco das caraterísticas do modelo representado na Figura 15, pois corresponde ao objeto chave que irá medir as acelerações geradas pelas vibrações na aplicação aqui retratada.



**Figura 15 - Modelo BMA-280 Bosch Sensortec**

**Tabela 5 – Especificações técnicas do modelo BMA-280, Bosch Sensortec (Bosch, 2017)**

<b>Consumo mínimo</b>	130 $\mu$ A
<b>Escalas disponíveis para aceleração</b>	$\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$
<b>Saída digital</b>	SPI & I2C
<b>Saída de dados</b>	14 bits
<b>Gama de frequências</b>	2 – 2000 Hz
<b>Gama de temperatura</b>	-40 a +85 °C

Este modelo corresponde a um acelerómetro avançado, ultrapequeno com interfaces digitais e apresenta um consumo de corrente extremamente reduzido, como podemos ver pela Tabela 6.

Este sensor apresenta algumas funcionalidades, tais como (Bosch, 2017):

- ❖ Interface digital;
- ❖ Funcionalidades de programação;
- ❖ Potência ultrabaixa.

#### **4.2.2. MPU-6500 TDK InvenSense**

Apesar do modelo MPU-6500 corresponder a um único dispositivo que integra um acelerómetro de 3 eixos, um giroscópio de 3 eixos e um Processador Digital de Movimento (PDM), convém aprofundar um pouco as características do acelerómetro - Tabela 6 - que se encontra integrado neste MEMS (TDK, 2017). Este segundo acelerómetro foi incorporado de forma a melhorar a experiência do utilizador e minimizar o consumo do dispositivo (Dixon-Warren, 2014).

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

**Tabela 6 - Especificações técnicas do modelo MPU – 6500 TDK InvenSense (TDK, 2017)**

<b>Consumo mínimo</b>	450 $\mu$ A
<b>Escalas disponíveis para aceleração</b>	$\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$
<b>Saída digital</b>	I2C
<b>Saída de dados</b>	16 bits
<b>Gama de frequências</b>	0,95 – 4000 Hz
<b>Gama de temperatura</b>	-40 a +85 °C

Tem ainda outras funcionalidades, tais como (TDK, 2017):

- ❖ Sensibilidade mínima do eixo transversal dos eixos do acelerómetro e do giroscópio;
- ❖ Sensor de temperatura;
- ❖ Tolerância de choque de 10,000 g;
- ❖ Filtros digitais programáveis.

Finalmente, podemos ainda localizar os dois sensores espacialmente, como nos mostra a Figura 17. A localização dos sensores é a mesma para o iPhone 6 e 6s, encontrando-se um pouco abaixo da câmara do aparelho (Dixon-Warren, 2014).



**Figura 17 - Localização dos sensores BMA-280 e MPU-6500 no iPhone 6s (Dixon-Warren, 2014)**

### 4.3. XCODE

O *Xcode* é um *software* usado para desenvolver programas (Figura 18) para Mac OS X, dispositivos iOS (iPods, iPhones, iPads), o Apple Watch e agora a Apple TV. É um IDE (*Integrated Development Environment*) e apresenta funções de edição, compilação e outras ferramentas. Este *software* permite executar inúmeras ações como: escrever, compilar, remover os defeitos do aplicativo (depurar) e enviar o programa para a App Store (Teas, 2015).

Para o desenvolvimento da aplicação foi selecionado este programa porque, para além da necessidade primária de compatibilidade com o iPhone 6s, apresenta outras vantagens, tais como (Sinicki, 2016):

1. Permite-nos a utilização de uma nova linguagem de programação, *Swift*, criada especificamente para iOS e OS X. Podemos saber as vantagens desta linguagem no capítulo 4.3.1.
2. A nível de integração de plataformas, o desenvolvimento de aplicações através de Xcode facilita o trabalho dos programadores. Por exemplo, no caso do Android, torna-se necessário a programação para diferentes tamanhos de ecrã, diferentes DPIs (*Dots Per Inch*) e diferentes relações de aspeto. No caso da Apple não é necessário este labor.
3. Finalmente, a App Store (onde são lançadas as aplicações) é alvo de um número menor de *downloads* mas de maior rentabilidade (em comparação com a Google Play), trazendo assim mais receita para os programadores (Marques, 2016).

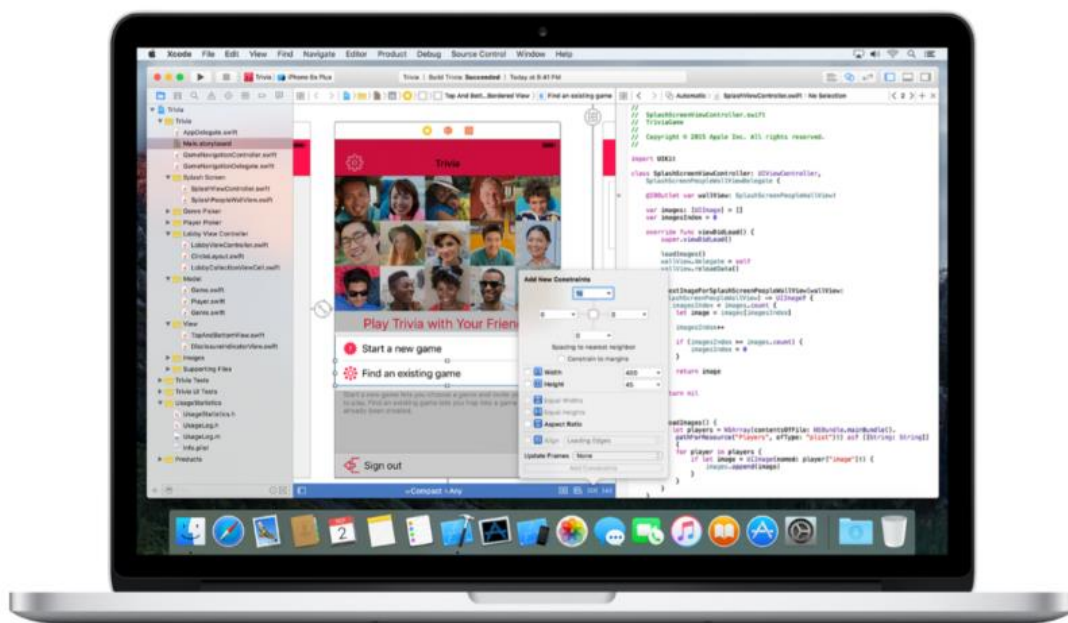


Figura 18 – Ambiente de desenvolvimento do *software* Xcode (Sinicki, 2016).



Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

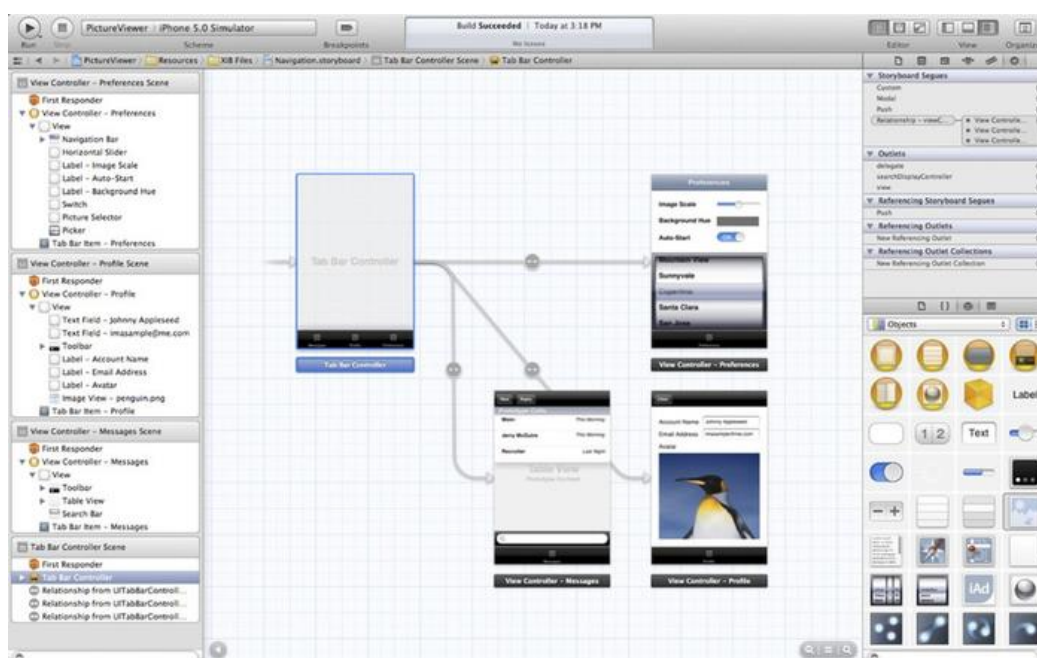
O Xcode foi lançado em 2003 e já conta com a versão 8.0. A interface deste *software* (Figura 19) foi projetada para permitir que o programador execute o trabalho numa janela única (Arvidsson, 2016).

É uma interface muito flexível, pois a aparência da janela altera-se conforme a tarefa que está a ser realizada (Apple, 2017).

Este programa apresenta um verificador de código (em tempo real), ou seja, enquanto o utilizador se encontra a programar, o Xcode deteta os erros e, quando possível, indica possíveis soluções. Apresenta ainda a ferramenta de “autocompletar” o que permite uma escrita ainda mais rápida. O Xcode disponibiliza ainda bibliotecas de códigos, ou seja, apresenta vários excertos de códigos habitualmente usados e modelos que podem ser usados para tornar o desenvolvimento mais rápido. Permite também guardar o próprio intervalo de código e modelos práticos (Arvidsson, 2016).

Segundo as ideias de Arvidsson (Arvidsson, 2016), este editor permite resultados de programação potencialmente mais rápidos, através da capacidade de alteração em centenas de linhas de código, sem existir a necessidade de abrir os arquivos individualmente para executar sempre a mesma ação.

Quando as aplicações se encontram finalizadas é necessário testá-las para detetar e corrigir qualquer tipo de erro que possa existir.



**Figura 19 – Interface do *software* Xcode (Sinicki, 2016).**

Desta forma, o Xcode vem com uma opção de depuração integrada. Para isso basta executar a aplicação em modo “depuração” e seguir o código-fonte linha por linha. É possível ainda saber o espaço CPU utilizado pela aplicação e a quantidade de recursos do telemóvel que estão a ser utilizados (Arvidsson, 2016).



Torna-se ainda importante referir que o Xcode oferece a opção de “guardar automaticamente” o progresso, reduzindo assim as hipóteses de perda de informação durante a programação da aplicação. Apresenta ainda, uma biblioteca de ajuda com diversa documentação, para auxiliar o seu utilizador (Apple, 2017).

### 4.3.1. Linguagem Swift

Como foi referido anteriormente, o *Swift* foi a linguagem de programação escolhida para o desenvolvimento da aplicação. Desta forma, este capítulo pretende elucidar um pouco sobre esta linguagem e dar a conhecer algumas vantagens da mesma.

‘No dia 2 de Junho de 2014, a Apple apareceu com uma notícia chocante: “Temos uma nova linguagem de programação.”’ Traduzido do livro de Matt Neuburg (Neuburg, 2015).

*Swift* é uma linguagem de programação mais eficiente, mais rápida que a antecessora (*Objective-C*) e completamente interativa, o que permite que o desenvolvimento seja avaliado constantemente à medida que se está a programar (Coelho, 2014).

A Apple implementou um algoritmo específico<sup>3</sup> nas linguagens *Objective-C*, *Python* e *Swift* e comparou a velocidade de execução de cada uma delas. A conclusão do estudo mostrou que o *Swift* é 93 vezes mais rápido que *Objective-C* e 220 vezes mais rápido que *Python* (Amanajás, s.d.).

#### 4.3.1.1 Características básicas

A linguagem *Swift* foi desenhada para ter algumas características básicas, tais como:

##### 1. Clareza

É uma linguagem fácil de ler e fácil de escrever. Apresenta poucos atalhos escondidos e a sua sintaxe (conjunto de regras) é consistente e explícita (Neuburg, 2015).

##### 2. Programação rígida

O *Swift* garante uma programação rígida que é responsável por saber que tipo referência de objeto se encontra a ser digitado (Neuburg, 2015).

---

<sup>3</sup> Algoritmo RC4 (Amanajás, s.d.).

### 3. Simplicidade

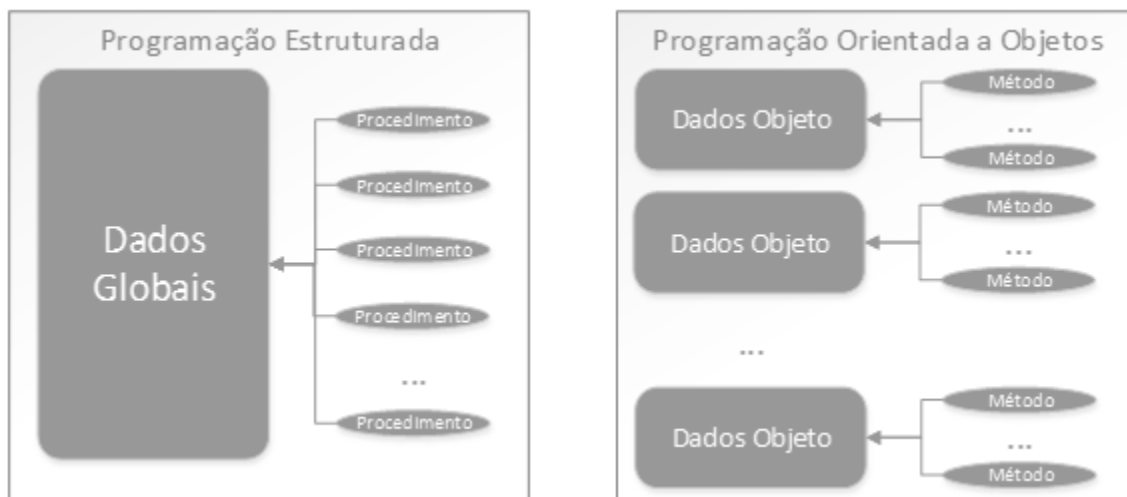
É uma linguagem simples e pequena. No entanto, fornece bibliotecas de código que poderão ser importadas e usadas posteriormente (Neuburg, 2015).

### 4. Orientada ao objeto

A linguagem *Swift* apresenta uma linguagem orientada ao objeto. De seguida apresenta-se uma explicação que procura esclarecer este tópico.

A programação POO (Programação Orientada a objetos) é um padrão, já existente, seguido por algumas linguagens, como C# e Java. É completamente oposta à programação mais antiga, denominada de Programação Estruturada (Machado, s.d.).

Na Figura 20 apresentam-se fluxogramas de comparação de ambas as linguagens.



**Figura 20 – Programação estruturada vs Programação Orientada a Objetos (Machado, s.d.)**

Tendo em atenção a imagem anterior é possível reparar que no caso da programação estruturada temos funções que são aplicadas globalmente na aplicação. No caso da programação orientada a objetos é facilmente perceptível que existem métodos diretamente aplicados a dados de cada objeto. No fluxograma, métodos e procedimentos são, na sua essência, semelhantes (Machado, s.d.).

Existem alguns pontos fundamentais para a compreensão da linguagem orientada a objetos, sendo eles a abstração (métodos e atributos), encapsulamento (classes abstratas), herança e polimorfismo, como podemos ver na Figura 21.



**Figura 21 – Conceitos fundamentais associados à linguagem orientada ao objeto (JJHOOW, 2011)**

### **i. Abstração**

Este conceito consiste em imaginar o que o objeto real irá realizar dentro do sistema. Devem-se ter em conta três pontos fundamentais.

Primeiramente, torna-se necessário dar uma identidade ao objeto que se pretende criar. Deve ser única dentro do sistema para não existir conflito. A segunda etapa, referente às características do objeto, pretende nomear propriedades do objeto criado. Como exemplo, tem-se as propriedades do objeto “Cão”, que poderiam ser “Tamanho” e “Raça”. Finalmente, deve-se definir as ações que o objeto irá executar, denominados de métodos. No seguimento do exemplo anterior tem-se o objeto “Cão”, que executa a ação de “Ladrar” (Neuburg, 2015).

### **ii. Encapsulamento**

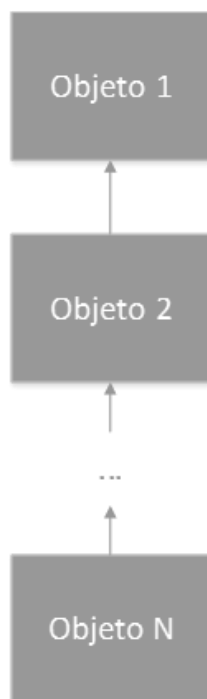
Esta técnica adiciona segurança à aplicação pelo fato de esconder as propriedades do objeto, criando uma espécie de caixa negra. A maior parte das linguagens usam propriedades privadas: métodos especiais intitulados de *getters* e *setters*. Esta técnica evita o acesso direto às propriedades do objeto, adicionando assim uma camada extra de segurança à aplicação. Como exemplo, tem-se o botão que aciona o ecrã do nosso computador. Como não se sabe o que ocorre literalmente quando o mesmo é acionado pode-se dizer que os métodos que ligam o ecrã estão encapsulados (Machado, s.d.).

### **iii. Herança**

A herança baseia-se na reutilização do código, otimizando a produção da aplicação em tempo e linhas de código (Machado, s.d.).

Para melhor compreensão desta característica é possível apoiar-se na ideia genológica da família: a criança herda algumas características do pai; o pai por sua vez herdou as características do seu pai (avô da criança), o que faz com que o filho herde também característica do avô e assim sucessivamente. No caso da programação orientada ao objeto passa-se exatamente o mesmo, como mostra a Figura 22. O objeto que se

encontra na posição inferior da hierarquia irá herdar todas as características dos objetos que se encontram acima dele (Machado, s.d.).



**Figura 22 – Herança na programação orientador- objeto (Machado, s.d.)**

#### **iv. Polimorfismo**

Como é sabido, os objetos-filhos herdam características e ações dos “objetos ancestrais” (objeto-pai, por exemplo). No entanto, por vezes, torna-se necessário que as ações para um determinado métodos sejam diferentes. Tendo isto em conta, pode-se afirmar que o polimorfismo consiste na mudança de um método que foi herdado pelos “ascendentes” para outro que o programador deseja, quebrando assim a passagem de informação que havia sido adquirida *a priori* (Machado, s.d.)

Usando o mesmo exemplo de Henrique Machado (Machado, s.d.), pode-se tomar como objeto o “Eletrodoméstico”. O método, ou ação, que se encontra diretamente ligado a ele é “Ligar”. Temos ainda mais dois objetos: “Televisão” e “Frigorífico”, que não serão ligados na mesma forma. Como “Ligar” contém a mesma informação que o seu “ancestral” torna-se necessário reescrever o método para cada um dos novos objetos.

#### **4.3.1.2 Vantagens**

Este tipo de linguagem pretende aproximar o sistema que está a ser criado do mundo que observamos. Este tipo de representação traz inúmeras vantagens para os programadores e também para os utilizadores da aplicação (Machado, s.d.).

1. A reutilização do código criado permite a diminuição do tempo de programação da aplicação, bem como o número de linhas de código. A linguagem *Swift*

apresenta independência entre as partes do *software* o que permite que o código seja reutilizado no futuro, noutros sistemas.

2. Como esta linguagem pretende criar uma aproximação ao que vemos na vida real, torna-se muito mais simples a compreensão do sistema como um todo e de cada parte que o constitui.
3. A linguagem *Swift* permite a criação de bibliotecas de código muito mais simples. Como exemplo tem-se a linguagem *C#*, em que as bibliotecas são funções que podem ser reutilizadas. No caso de *Swift* as bibliotecas de código trazem representações de classes, facilitando a compreensão e reutilização das mesmas.
4. O código criado na linguagem *Objective C* pode ser reaproveitado para o *Swift*, pois existe compatibilidade entre estas duas linguagens de programação. Assim fica garantido que os programadores podem livremente transferir a informação da primeira para a segunda, sem perda da mesma (Coelho, 2014).



## 5. Desenvolvimento da aplicação

A aplicação que aqui se pretende apresentar baseia-se no desenvolvimento de código que nos permite ter acesso ao acelerómetro instalado no iPhone 6s, recolher a informação registada pelo mesmo e finalmente tratar os dados obtidos, sempre direccionado para a vertente de Engenharia de Minas. É importante referir ainda que, a mesma, foi desenvolvida em parceria com a empresa O-Pitblast e que apenas se encontram aqui demonstradas partes de um código muito mais extenso.

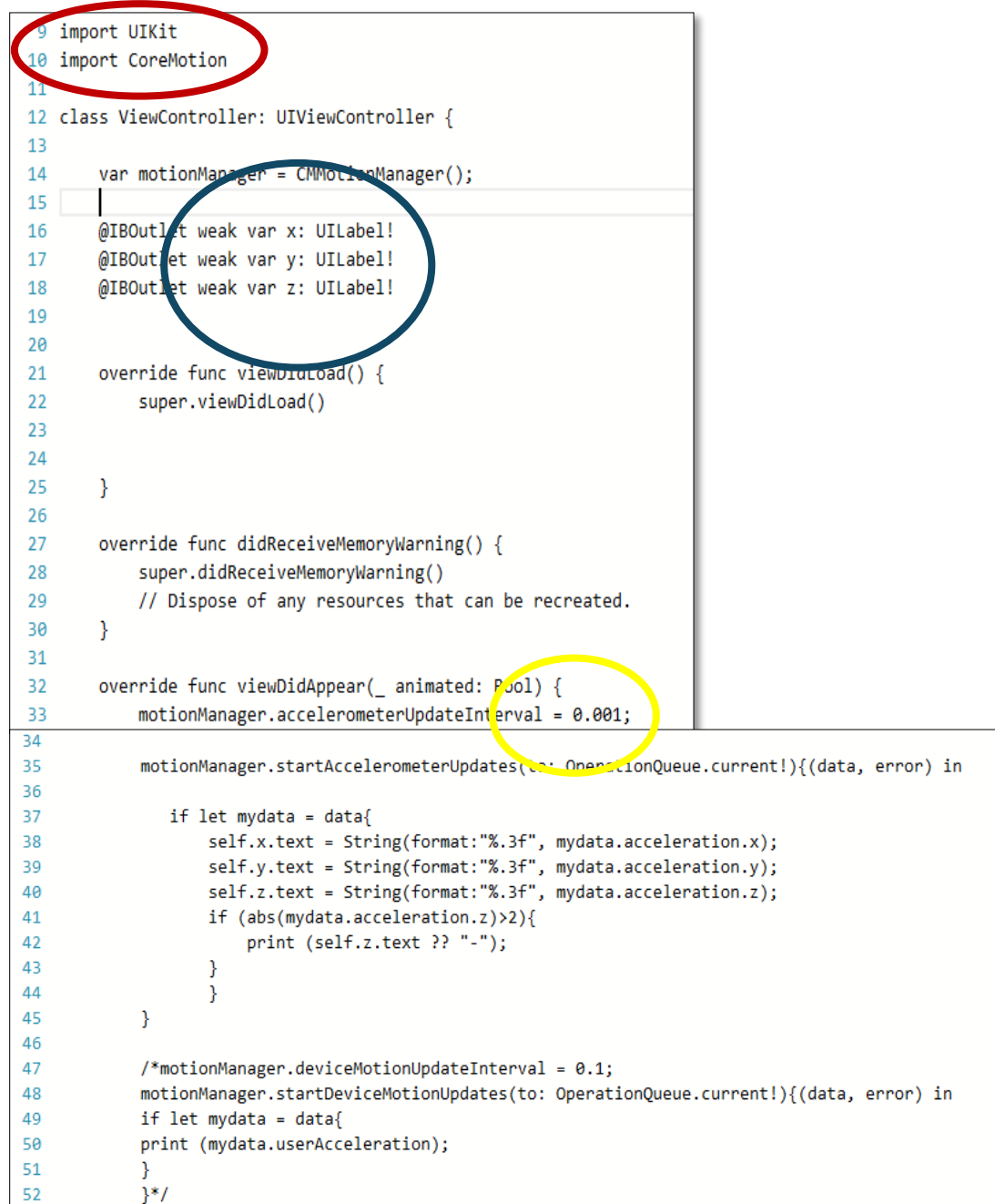
Para tal, para além da execução das linhas de código, torna-se necessário a exportação de bibliotecas de código. Estas bibliotecas consistem numa coleção de subprogramas que poderão ser utilizados no desenvolvimento do *software*. Contêm códigos e dados auxiliares comumente usados, sendo que os mesmos podem sofrer alterações para se moldarem aos objetivos do programador. Doutra forma, pode-se dizer que facilitam a vida ao programador pois poupam o trabalho de escrever linhas de código “universalmente” utilizadas (Lebowitz, 1996).

### 5.1. Recolha de dados

Para iniciar o desenvolvimento da aplicação, sendo a primeira etapa o acesso ao acelerómetro principal do iPhone e a respetiva reprodução dos resultados no ecrã, procedeu-se à exportação das bibliotecas “UIKit” e “CoreMotion”. A primeira estrutura cria a janela e a respetiva visualização necessária para gerenciar a interface do utilizador e a infraestrutura de manipulação da aplicação. No caso da segunda biblioteca, esta permite que o acelerómetro principal esteja perceptível a qualquer movimento no *hardware* do dispositivo a partir do momento em que aplicação é aberta e que processe os dados respetivos a esse movimento (Apple, 2017).

- a. De uma forma simplificada o código essencial para esta fase inicial baseou-se na importação das bibliotecas referidas anteriormente (vermelho), criação das etiquetas que corresponderão às coordenadas X, Y, Z na interface da aplicação (azul) - que posteriormente nos indicarão os valores de velocidades máximas em cada uma das direções - e definição do intervalo de atualização de dados do acelerómetro (amarelo) no qual as acelerações serão lidas. Este intervalo de atualização de dados foi definido com o valor de 0,001 (e pode ser alterado a qualquer momento), o que significa que a cada milissegundo o acelerómetro deverá registar um valor da aceleração.

Todas estas fases encontram-se assinaladas na Figura 23.



The image shows a snippet of Swift code for an iOS application. Three specific parts of the code are highlighted with colored circles: a red circle around the import statements, a blue circle around the IBOutlet declarations, and a yellow circle around the accelerometer update interval setting.

```
9 import UIKit
10 import CoreMotion
11
12 class ViewController: UIViewController {
13
14     var motionManager = CMMotionManager();
15
16     @IBOutlet weak var x: UILabel!
17     @IBOutlet weak var y: UILabel!
18     @IBOutlet weak var z: UILabel!
19
20
21     override func viewDidLoad() {
22         super.viewDidLoad()
23
24
25     }
26
27     override func didReceiveMemoryWarning() {
28         super.didReceiveMemoryWarning()
29         // Dispose of any resources that can be recreated.
30     }
31
32     override func viewWillAppear(_ animated: Bool) {
33         motionManager.accelerometerUpdateInterval = 0.001;
34
35         motionManager.startAccelerometerUpdates(to: OperationQueue.current!){(data, error) in
36
37             if let mydata = data{
38                 self.x.text = String(format: "%.3f", mydata.acceleration.x);
39                 self.y.text = String(format: "%.3f", mydata.acceleration.y);
40                 self.z.text = String(format: "%.3f", mydata.acceleration.z);
41                 if (abs(mydata.acceleration.z)>2){
42                     print (self.z.text ?? "-");
43                 }
44             }
45         }
46
47         /*motionManager.deviceMotionUpdateInterval = 0.1;
48         motionManager.startDeviceMotionUpdates(to: OperationQueue.current!){(data, error) in
49             if let mydata = data{
50                 print (mydata.userAcceleration);
51             }
52         }*/
```

**Figura 23 – Código Seism-O: importação das bibliotecas, acesso e recolha de dados do acelerómetro**



- b. Numa fase seguinte criou-se o código que permitiu o registo das vibrações “ruído”. Estas vibrações acontecem mesmo quando o iPhone se encontra imóvel, como por exemplo, quando um carro passa na rua, o acelerómetro do iPhone deteta este movimento e regista. Foram criadas linhas de código (Figura 24) para medir até 200 valores, sendo os mesmos substituídos por valores seguintes, de forma a o histórico manter 200 valores atualizados temporalmente.

```
let historicQuantity:Int = 200;

self.labelDATAMEMORY.text = self.myArrayX.count.description;

if (!self.readInfo){

    if (self.myArrayX.count<historicQuantity){
        self.myArrayX.append(self.roundNumber(number: mydata.acceleration.x));
        self.myArrayY.append(self.roundNumber(number: mydata.acceleration.y));
        self.myArrayZ.append(self.roundNumber(number: mydata.acceleration.z));
    }else{
        self.myArrayX.remove(at: 0);
        self.myArrayY.remove(at: 0);
        self.myArrayZ.remove(at: 0);

        self.myArrayX.append(self.roundNumber(number: mydata.acceleration.x));
        self.myArrayY.append(self.roundNumber(number: mydata.acceleration.y));
        self.myArrayZ.append(self.roundNumber(number: mydata.acceleration.z));
    }
}
```

**Figura 24 - Código Seism-O: recolha de valores para o histórico de vibrações correspondentes ao iPhone imóvel (vibrações ressonantes)**

- c. Numa fase posterior, define-se o “trigger” (a vermelho), ou seja, o valor correspondente ao gatilho. Este valor serve como referência, ou seja, quando a vibração ultrapassa este valor definido pelo utilizador (que se encontra em g’s), o acelerómetro começa a recolher dados, registando também a data e hora nesse preciso instante. Nesta fase também se encontra o período que irá durar a recolha e gravação dos dados através do “recordSecondsTime” (amarelo). Este fator encontra-se em segundos e pode ser definido na interface principal na aplicação.

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

O código para esta fase encontra-se na Figura 25 e devidamente assinalado.

```
let trigger:Double = 0.1;

if ((abs(mydata.acceleration.x)>trigger || abs(mydata.acceleration.y)>trigger ||
    abs(mydata.acceleration.z + 1)>trigger) && !self.readInfo){

    self.readInfo = true;

    self.startDate = Date();

    self.countTimes = 0;
}

let recordSecondsTime:Double = 5;
```

**Figura 25 - Código Seism-O: definição do “trigger” e do tempo de duração para recolha de dados**

## 5.2. Tratamento de dados

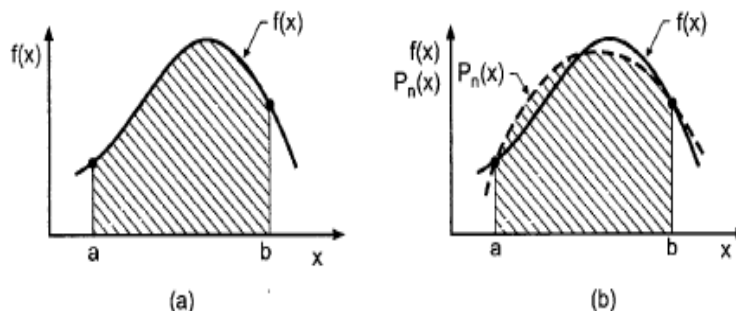
Nesta fase da aplicação, o código será desenvolvido com o objetivo de tratar os dados recebidos pelo acelerómetro. Ou seja, através do código criado, os dados passarão por processos matemáticos como integrações de forma a obter-se o resultado ideal para o utilizador.

De uma forma simples pode dizer-se que os dados são previamente ajustados por uma média móvel. Depois procede-se a uma integração de quatro passos, com o objetivo de transformar a aceleração em velocidade para por fim sofrerem a um ajustamento de unidades.

### 1. Integração numérica

Os dados serão recolhidos sob a forma de acelerações (em  $g$ ), o que significa que teremos informações de acelerações nos eixos X, Y e Z. Após este processo, estes dados sofrerão um processo de integração numérica, no qual, transformará as acelerações em velocidades.

A integração pode ser definida, de uma forma geral e para um certo intervalo como sendo a área que se encontra abaixo da curva pertencente à função  $f(x)$ , nesse determinado intervalo – Figura 26.



**Figura 26 – Determinação do integral através do cálculo da área sob a função  $f(x)$  (Integração Numérica, 2017)**

Equação 2: Notação matemática para definir o integral de uma função  $f(x)$  no intervalo  $[a,b]$  (Stuart, 1999)

$$I(f) = \int_a^b f(x) dx$$

Em relação à aplicação em questão o objetivo principal é obterem-se valores de velocidades finais em mm/s (unidades comumente usadas para o valor PPV). Este processo será feito através da integração numérica pela fórmula de Simpson (HAMMING, 1971).

Para tal, existe um processo constituído por 4 etapas principais, pelo qual os dados irão passar, descritos de seguida.

#### **i. Correção dos valores de X, Y e Z**

Nesta primeira fase será aplicada a média aos valores dos 3 eixos (de 10 em 10 valores). O valor de média obtida é subtraído ao valor inicial das acelerações, obtendo-se o valor corrigido de X, Y e Z. Esta etapa é feita para garantir que os valores se encontram em torno do eixo, caso exista alguma descompensação do acelerómetro do iPhone.

Na Figura 27 apresenta-se as linhas do código respetivas as correções dos valores das acelerações.

```
for i in 0 ... (x.count - 1) {

    ordem.append(i);

    if (i<referenceToAverage){
        corrX.append(self.getAverage(vector: x , from: 0, to: quantityOfNumberToCalculateAverage-1, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
        corrY.append(self.getAverage(vector: y , from: 0, to: quantityOfNumberToCalculateAverage-1, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
        corrZ.append(self.getAverage(vector: z , from: 0, to: quantityOfNumberToCalculateAverage-1, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
    }else{
```

```
if i >= x.count - referenceToAverage{
    corrX.append(self.getAverage(vector: x , from: x.count - quantityOfNumberToCalculateAverage,
                                to: x.count - 1, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
    corrY.append(self.getAverage(vector: y , from: y.count - quantityOfNumberToCalculateAverage,
                                to: y.count - 1, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
    corrZ.append(self.getAverage(vector: z , from: z.count - quantityOfNumberToCalculateAverage,
                                to: z.count - 1, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
}else{
    corrX.append(self.getAverage(vector: x , from: i - referenceToAverage,
                                to: i + referenceToAverage, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
    corrY.append(self.getAverage(vector: y , from: i - referenceToAverage,
                                to: i + referenceToAverage, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
    corrZ.append(self.getAverage(vector: z , from: i - referenceToAverage,
                                to: i + referenceToAverage, denominator: quantityOfNumberToCalculateAverage));
}
```

**Figura 27 - Código Seism-O: Correção dos valores dos eixos X, Y e Z.**

**ii. Multiplicação pelo valor da gravidade para obter os valores de aceleração reais**

Neste ponto, todos os elementos correspondentes às acelerações de X, Y e Z sofrerão uma multiplicação pelo valor da aceleração da gravidade, considerada  $9,81 \text{ m/s}^2$  neste caso, como se pode ver pela Figura 28, e passam das unidades  $g$  para  $\text{m/s}^2$ .

```
let gravity:Double = 9.81;

for i in 0 ... (x.count - 1) {

    newX.append((x[i] - corrX[i]) * gravity);
    newY.append((y[i] - corrY[i]) * gravity);
    newZ.append((z[i] - corrZ[i]) * gravity);
}
```

**Figura 28 - Código Seism-O: multiplicação dos valores da aceleração pela gravidade**

**iii. Integração numérica através da fórmula de Simpson.**

Passando a uma etapa crucial, onde existe um alisamento dos valores, é nesta fase que ocorre a integração dos valores das acelerações ( $\text{m/s}^2$ ), tornando-os valores correspondentes a velocidade ( $\text{m/s}$ ).

Para tal, optou-se pela fórmula de Simpson presente página 360 do livro de Hamming (HAMMING, 1971) por ser bastante fácil de implementar e apresentar resultados confiáveis (HAMMING, 1971), o que era essencial para esta primeira fase de teste da aplicação.

Equação 3: Fórmula de Simpson para integração numérica

$$Y_1 = Y_0 + \frac{h}{24} (9Y'_0 + 19Y'_1 - 5Y'_2 + Y'_3)$$

Em que h corresponde ao passo, Y corresponde ao valor da velocidade (inicialmente  $Y_0=0$ ) e Y' corresponde aos valores derivados da velocidade (ou seja, correspondem às acelerações registadas pelo acelerómetro).

Após a aplicação desta fórmula para todos os valores de aceleração, obtém-se os novos valores de velocidade para X, Y e Z em m/s.

Na Figura 29, apresenta-se o código respetivo à aplicação da fórmula de Simpson para integração das acelerações.

```
//simpson
vX.append(vX[i - 1] + stepInterval/24.0 * (9.0 * newX[i-1] + 19 * newX[i] - 5 * newX[i+1] + newX[i+2]));
vY.append(vY[i - 1] + stepInterval/24.0 * (9.0 * newY[i-1] + 19 * newY[i] - 5 * newY[i+1] + newY[i+2]));
vZ.append(vZ[i - 1] + stepInterval/24.0 * (9.0 * newZ[i-1] + 19 * newZ[i] - 5 * newZ[i+1] + newZ[i+2]));

if (abs(vX[i]) > higherX){
    higherX = vX[i];
}
if (abs(vY[i]) > higherY){
    higherY = vY[i];
}
if (abs(vZ[i]) > higherZ){
    higherZ = vZ[i];
}
```

**Figura 29: Código Seism-O: aplicação da integração pelo método de Simpson**

#### **iv. Mudança dos valores de velocidade (m/s) para mm/s**

Nesta etapa efetua-se uma multiplicação do maior valor obtido nas velocidades (em X, Y e Z) por 1000, obtendo-se então os valores finais em mm/s para os valores presentes em cada um dos eixos.

Finalmente, o iPhone irá apresentar o valor máximo da velocidade segundo cada um dos componentes dos vetores velocidade, no ecrã do aparelho. Nesta fase, com acesso aos dados recebidos e presentes na aplicação, o utilizador pode facilmente calcular o PPV conforme as normas presentes nos diferentes países, como já foi referido no capítulo 2.3.1.

### 5.3. Server: servidor de armazenamento de informação

Para facilitar o uso da aplicação, um dos objetivos da mesma é enviar um correio eletrónico sempre que requerido pelo utilizador com os dados das acelerações em cada eixo, durante o tempo requerido pelo mesmo, e a informação das velocidades máximas obtidas em cada eixo. Para tal, tornou-se necessário criar um servidor para armazenar a informação pretendida.

De seguida segue uma breve explicação do que é um servidor e para que serve.

Pode ser definido como um “computador” que faz parte de uma rede (*web*) que executa serviços a outros computadores. Normalmente os servidores são usados para armazenamento de ficheiros digitais. Existem diversos servidores, tais como servidores de ficheiros, servidores de correio eletrónico (guardam, recebem e enviam correios eletrónicos) e servidores web (Conceito.DE, s.d.).

No âmbito específico deste projeto, o servidor irá “fornecer um serviço *web*” ao iPhone que se encontra com a aplicação ativa, armazenando os dados pretendidos para posteriormente enviar o correio eletrónico.

#### 5.3.1. Linguagem PHP

Para conseguir utilizar um servidor é necessário utilizar uma linguagem de servidor. Existem inúmeras linguagens, tais como: ASP, Perl, Java, entre outras. No entanto para o caso específico desta aplicação foi escolhida a linguagem PHP.

O nome PHP tem o significado de **PHP: Hypertext Preprocessor** e não é considerada uma linguagem de programação propriamente dita. É uma tecnologia que permite a inserção de *scripts* (“conjunto de instruções”) nos documentos (HTML.net, 2016).

Por sua vez, uma página PHP trata-se de um ficheiro gravado com a extensão .php contendo etiquetas HTML e *scripts* que são executados pelos servidores (referidos no capítulo 5.3) (HTML.net, 2016).

#### 5.3.2. Método de envio

Finalmente, torna-se importante referir ainda o método pelo qual as informações são enviadas para o servidor.

Existem dois grandes métodos GET e POST, sendo o utilizado no desenvolvimento da aplicação foi o método POST. Este sistema utiliza URI (*Uniform Resource Identifier*), para enviar as informações ao servidor. É um método mais seguro pois a informação a enviar para o servidor não está presente no URL (Torres P. , 2017).

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

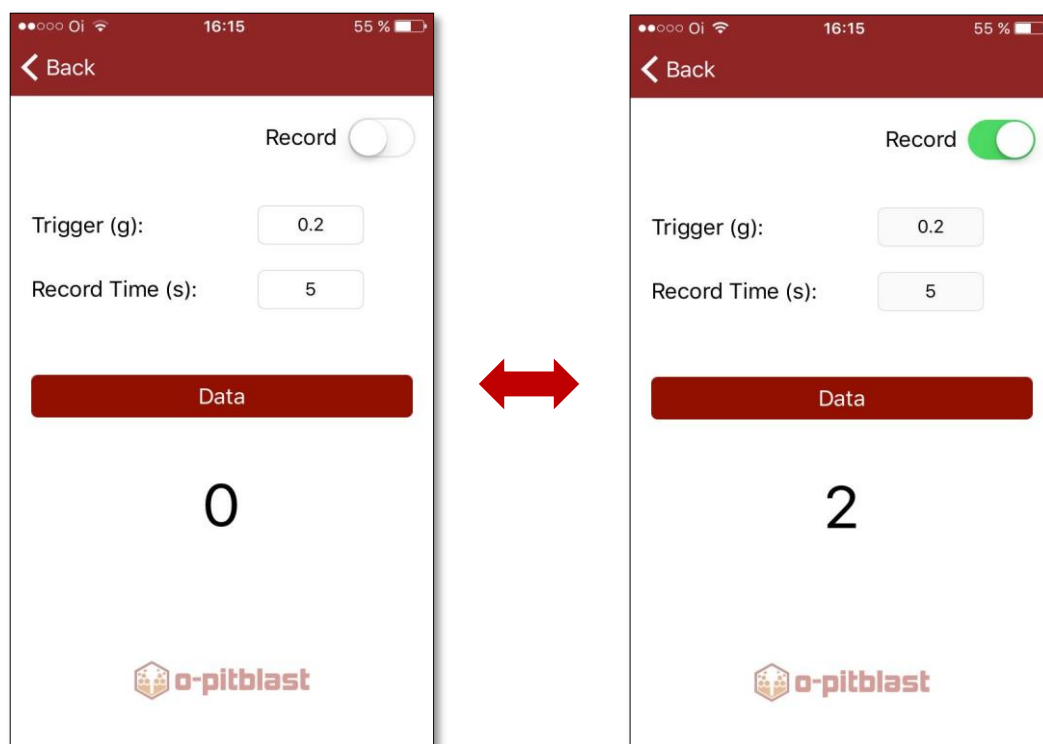
Apresenta ainda outra vantagem, relacionada com a dimensão da informação necessária a ser enviada. Como a informação a ser armazenada exigia uma grande capacidade, este método tornou-se fulcral porque tem um limite de capacidade elevado (256 MB por transferência) para o envio das informações (Torres P. , 2017).

## 5.4. UI: *User Interface*

A área da Interface de Utilizador, ou *User Interface*, é responsável pela parte visual do projeto. É nesta zona que o utilizador pode interagir com a aplicação, pois é nesta área que existe interação na plataforma, por exemplo, uso de um botão.

De uma forma simplificada e prática podemos dizer que a área UI envolve a criação de *layouts* com textos e imagens para ação com outros elementos. Deve-se ter sempre em consideração a criação de uma interface simples e, principalmente com usabilidade (Lovi, 2017).

No caso da aplicação que aqui é apresentada, no momento em que foi escrito este relatório, encontra-se com ecrãs rudimentares, mas com as funções principais para o funcionamento da mesma (Lovi, 2017). De seguida iremos ver e analisar os ecrãs presentes na nossa área UI e as respetivas funções dos seus elementos (Figura 30 e Figura 31).



**Figura 30 – Interface “Main Menu” da aplicação Seism-O**

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

No topo da aplicação (Figura 30), existe um botão (Record) que permitirá a sua ativação/desativação (ficando verde quando ativado), implicando a sua ativação a possibilidade do *trigger* (ver capítulo 5.1) ser atingido a qualquer momento e, por sua vez, iniciar-se a gravação das acelerações. Quando o mesmo se encontra desligado o acelerómetro não se encontra em modo de registo e armazenamento de vibrações.

De seguida apresenta-se a opção *trigger* (Figura 30) onde o utilizador pode definir o gatilho que pretende, em g's. Ou seja, quando o mesmo for ultrapassado, o acelerómetro começará a fazer recolha e tratamento de dados. Ao mesmo tempo, na opção *Record Time*, poderá optar pelo tempo que pretende que dure a gravação dos dados, em segundos.

Posto isto, quando o valor “0” que se encontra no ecrã (Figura 30), estiver imóvel, significa que o tempo de gravação não está ativado, ou seja, a aplicação está desativada ou o *trigger* ainda não foi atingido. Assim que esse valor começa a aumentar, mostra-nos, em tempo real, quanto tempo decorreu desde que a recolha de dados se iniciou.

Finalmente, no botão *Data* é possível iniciar uma mudança de interfaces. Este botão remete-nos para o ecrã representado na Figura 31.

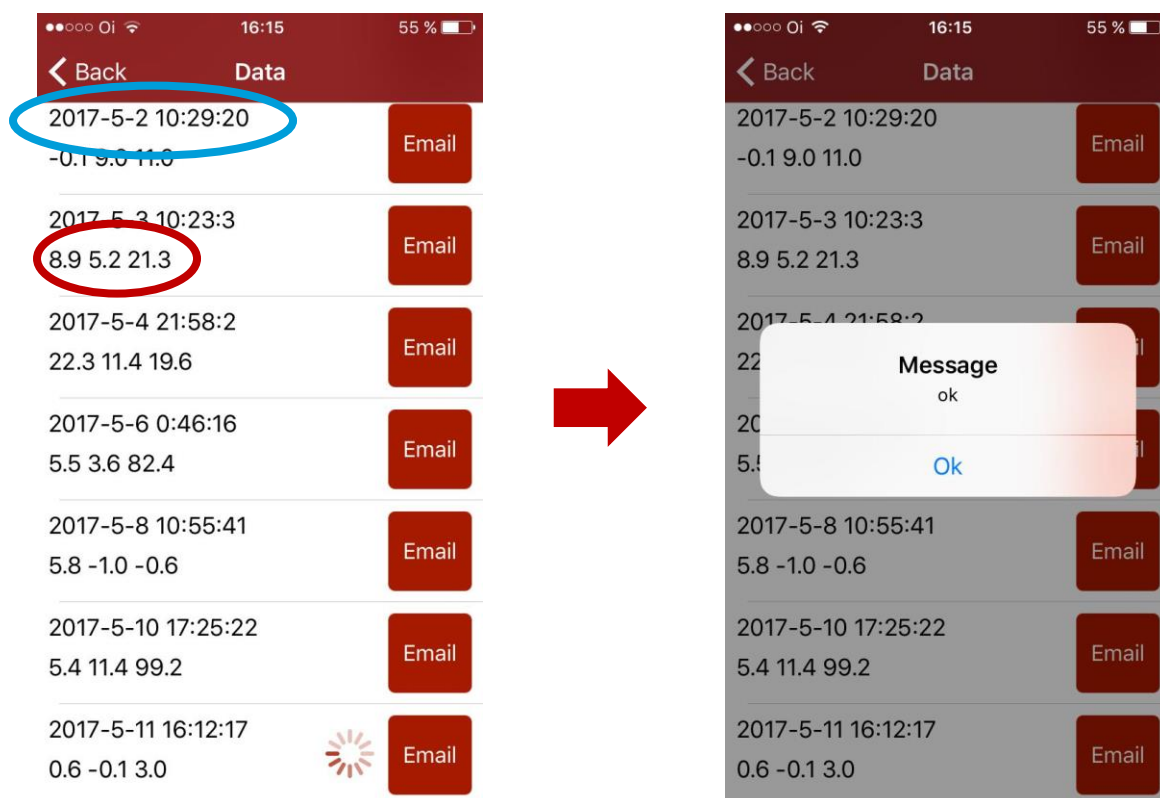


Figura 31 – Interface “Data” da aplicação Seism-O



Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

Este ecrã baseia-se numa lista de ficheiros, catalogados conforme a data e hora em que ocorreu a recolha dos dados (assinalado a azul). Imediatamente abaixo dessa informação aparece ainda os valores das velocidades máximas nos eixos X, Y e Z respetivamente (assinalado a vermelho).

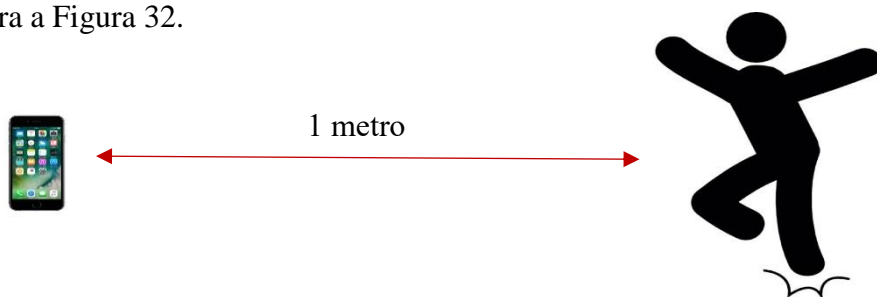
Se o utilizador desejar apagar ficheiros, apenas terá de deslizar o dedo da direita para a esquerda. Se, por sua vez, desejar enviar um correio eletrónico com as informações que se apresentam no ecrã mais todas as acelerações que foram recolhidas e registadas apenas necessita de pressionar o botão *Email* e receberá uma mensagem a dizer “Ok” caso não ocorra nenhum erro. Caso contrário, aparecerá uma caixa de texto a explicar o erro ocorrido, por exemplo “*You don't have internet connection*” ou “*Problems with the server*”.



## 6. Desenvolvimento do suporte

Numa fase inicial, foram executadas algumas medições com o iPhone devidamente programado, no contexto de escritório, apenas para verificar se o mesmo se encontrava em funcionamento. Foram feitas análises no programa Excel que se encontram descritas de seguida.

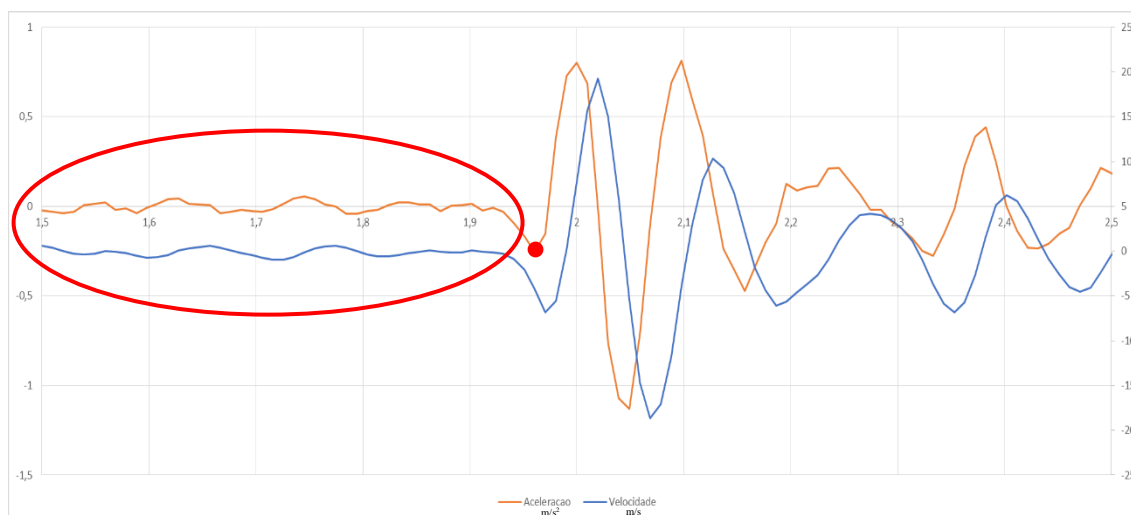
Com a obtenção de todos os valores das acelerações, foi possível construir os gráficos correspondentes a uma medição escolhida aleatoriamente e enviada por correio eletrónico (Anexo B), correspondente a um salto efetuado a 1 metro de distância, como nos mostra a Figura 32.



**Figura 32 – Esquema dos testes iniciais**

Estes valores foram obtidos com o *trigger* definido no valor 0,1 g para um tempo de gravação de 5 segundos.

Tornou-se, então, exequível reconstituir graficamente os dados obtidos, sendo possível a sua visualização, com relação ao eixo dos X do acelerómetro, na Figura 33. A linha cor-de-laranja corresponde ao comportamento das acelerações e, por sua vez, a linha azul corresponde ao comportamento da velocidade.



**Figura 33 – Gráfico representativo dos valores obtidos no eixo dos X**

Ainda com relação à Figura 33, podemos perceber que todos os valores que se encontram anteriores ao ponto vermelho sinalizado no gráfico correspondem aos 200 valores do histórico de gravação referido no capítulo 5.1 (sinalizado pelo círculo vermelho). A partir desse ponto e em diante, como o foi atingido o *trigger*, começa a gravação das vibrações provocadas pelo salto.

Finalmente, ainda se obteve um valor de velocidade máxima na componente Z, ou seja, o valor atingido e registado pelo acelerómetro, para o teste referido anteriormente.

<b>Eixo Z</b>	<b>55,7 mm/s</b>
---------------	------------------

Após a análise dos resultados no programa *Excel* e apesar ser uma interpretação óbvia (mesmo sem a execução de qualquer teste), foi possível perceber que a utilização do iPhone diretamente no solo seria um obstáculo.

O facto de o iPhone se encontrar colocado diretamente na superfície, implica que o mesmo esteja sujeito a vibrações “diretas”, ou seja, como não se encontra fixo em nenhum ponto (por exemplo subsolo) não acompanha a vibração do chão. Pode-se dizer ainda que é como se “estivéssemos a agitar diretamente o acelerómetro”, amplificando a vibração. O objetivo principal é que o acelerómetro esteja imóvel e que registre as vibrações que o atravessam e o fazem vibrar.

Este facto implicou que, apesar do salto ter ocorrido a 1 metro de distância, se tenha registado um valor tão elevado (55,7 mm/s). Se o mesmo estive enterrado, não seria praticável existir tal vibração, por um mero salto.

De forma a contornar este problema surgiu a ideia de desenvolver um suporte (Figura 34), na qual fosse possível imobilizar o iPhone e ainda enterrar a mesma no subsolo. É importante referir que este trabalho é introdutório e que o desenvolvimento do suporte para versões melhoradas, onde possam ser evitados amortecimentos, retardamentos ou de alguma maneira destorcimentos do sinal, foge ao escopo do trabalho principal.

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

A base utilizada para o suporte é constituída por alumínio e ainda por uma lixa antiderrapante, onde posteriormente serão afixados (no topo da mesma) os velcros resistentes.



**Figura 34 – Suporte desenvolvido para o iPhone (base)**

Como podemos ver pela Figura 35, foram feitos quatro furos onde foram colocados, posteriormente, quatro parafusos de aço galvanizados que foram devidamente apertados com uma porca de orelhas. Estes parafusos serão a ponte de transporte das vibrações para o iPhone, pois encontrar-se-ão enterrados no subsolo.



**Figura 35 – Suporte desenvolvido para o iPhone (aplicação dos parafusos com porca de orelhas)**

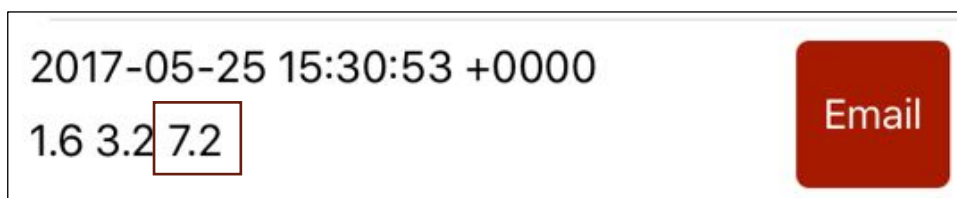
Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

Finalmente, a solução encontrada para fixar o iPhone ao suporte foi através de um velcro resistente, presente tanto no suporte como na capa protetora do telemóvel que é montada conforme se encontra demonstrado na sequência de imagens da Figura 36.



**Figura 36 – Fixação do iPhone ao suporte**

Para garantir que este problema foi contornado, repetiu-se o mesmo ensaio supramencionado (neste caso, num jardim) mas agora com o auxílio do suporte, estando o mesmo enterrado no solo. É possível verificar através da Figura 37 que o valor da velocidade máxima nos diferentes eixos é diminuto em comparação com o obtido anteriormente, comprovando a melhoria que o suporte trouxe a este projeto.



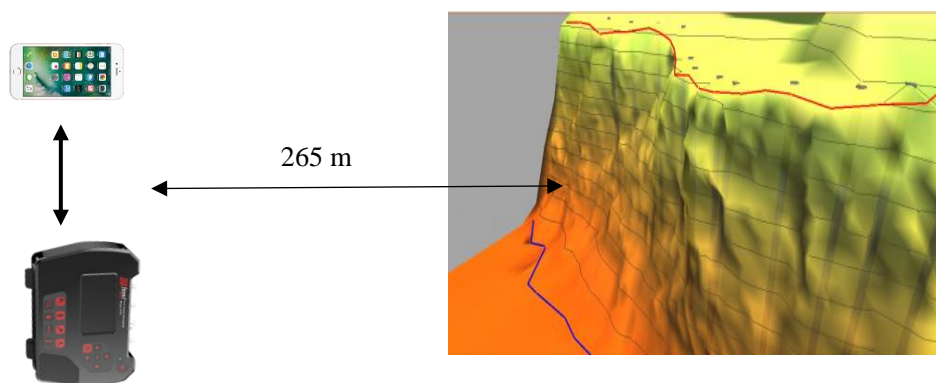
**Figura 37 – Resultados obtidos no novo teste - componente Z  
(assinalada a vermelho)**

## 7. Ensaios de campo

Após a contextualização teórica (capítulos 2, 3 e 4) e a análise do processo de criação e desenvolvimento da aplicação e do suporte (capítulo 5 e 6) segue-se o próximo passo, a execução de ensaios de campo onde será testada a capacidade da aplicação de registrar as vibrações geradas em desmonte de rocha com recurso a explosivo.

Nesta fase, um colaborador da O-Pitblast, deslocou-se até África e realizou testes numa mina de renome que executa exploração de ouro. Por indicação da empresa proprietária da mina, não é possível mencionar a identidade da mesma e apenas houve acesso aos dados-resultados.

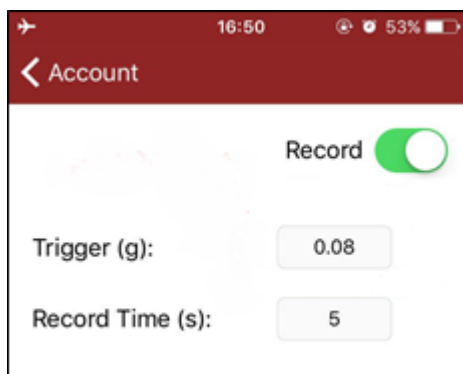
Com a devida permissão e autorização da mina em questão, foi possível colocar simultaneamente o iPhone (com a aplicação devidamente instalada) ao lado do sismógrafo *Instantel* (referido no capítulo 3.4), a aproximadamente 265 metros de distância da frente de desmonte, direcionados para a mesma. É importante referir que os ensaios devem estar direcionados para a frente de desmonte em todos os ensaios, para ser possível haver uma comparação dos resultados obtidos (comparação do eixo longitudinal) como demonstra o esquema da Figura 38. Foram então executados dois ensaios em dias diferentes.



**Figura 38 – Esquema do teste de campo, com relação à frente de desmonte**

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

As configurações definidas na aplicação, antes de se iniciarem as pegas de fogo, foram as presentes na Figura 39, na qual o trigger escolhido foi 0,08 g e o tempo de gravação foi de 5 segundos.



**Figura 39 – Configurações definidas para o teste de campo**

Segundo os dados da O-PITBLAST, a primeira pega de fogo utilizou 33 573,2 kg de explosivo do tipo hidrogel com uma densidade  $1,20 \text{ g/cm}^3$  para um total de 231 furos e foi realizada as 17:32h do dia 3 de Julho de 2017.

O segundo desmonte contou com 130 887,7 kg de explosivo do tipo hidrogel com densidade de  $1,20 \text{ g/cm}^3$  para um total de 637 furos e foi realizado no dia 9 de Julho de 2017 pelas 17:35h.

É importante referir ainda que no primeiro ensaio o iPhone foi colocado junto ao geofone ligado às saídas 4, 5 e 6 pois simultaneamente ocorria outro estudo, nomeadamente para o cálculo da velocidade da onda P. No segundo caso, o iPhone encontrava-se colocado junto ao mesmo geofone, mas por sua vez este foi ligado aos canais 1, 2 e 3.

Sabendo algumas das condições referentes aos desmontes e das condições iniciais dos testes, iniciaram-se os desmontes e, durante os 5 segundos a partir dos quais o trigger foi atingido, foram registados os valores correspondentes às acelerações dos mesmos.

Imediatamente após os 5 segundos de recolha de informação, a aplicação deu-nos os valores correspondentes à velocidade máxima (para certo instante) referente a cada um dos eixos X, Y e Z.

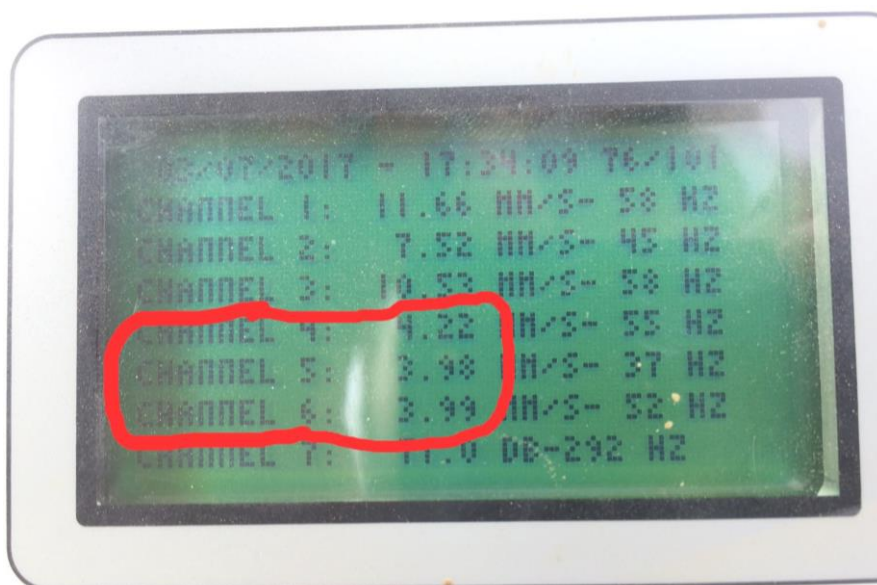
Analisando o primeiro caso, obtiveram-se os seguintes resultados no iPhone - Figura 40 (assinalado a vermelho).



1.3 6.0 2.6	
2017-7-3 16:53:51	
8.5 9.1 9.3	Email
2017-7-3 17:32:27	Email
6.0 3.9 3.9	

**Figura 40 –Da esquerda para a direita: Velocidade máxima em X; Velocidade máxima em Y e velocidade máxima em Z (em mm/s)**

Da mesma forma e simultaneamente, o sismógrafo registou longitudinalmente, transversalmente e verticalmente os valores das velocidades da onda geradas no primeiro desmonte (também com resultados em mm/s) que correspondem, respetivamente, ao canal 4, 5 e 6 – Figura 41 (assinalado a vermelho).



**Figura 41 – Resultados obtidos no sismógrafo *Instantel* (em mm/s) após o primeiro desmonte**

Podemos, inicialmente, calcular o PPV para ambos os casos, como mencionado no capítulo 1:

$$1) \text{ PPV iPhone } \sqrt{6,0^2 + 3,9^2 + 3,9^2} = 8,15 \text{ mm/s}$$

$$2) \text{ PPV Sismógrafo: } \sqrt{4,22^2 + 3,98^2 + 3,99^2} = 7,04 \text{ mm/s}$$

$$\text{Diferença de PPV's: } |8,15 - 7,04| = 1,11 \text{ mm/s}$$

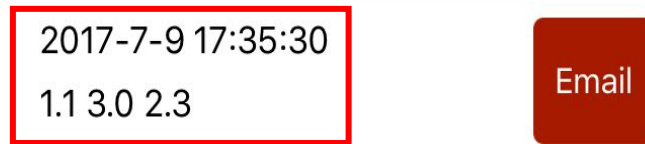
Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

Podemos ainda fazer uma análise para o intervalo de confiança da média e do resíduo com os valores obtidos no sismógrafo e no iPhone. Obtiveram-se os seguintes resultados:

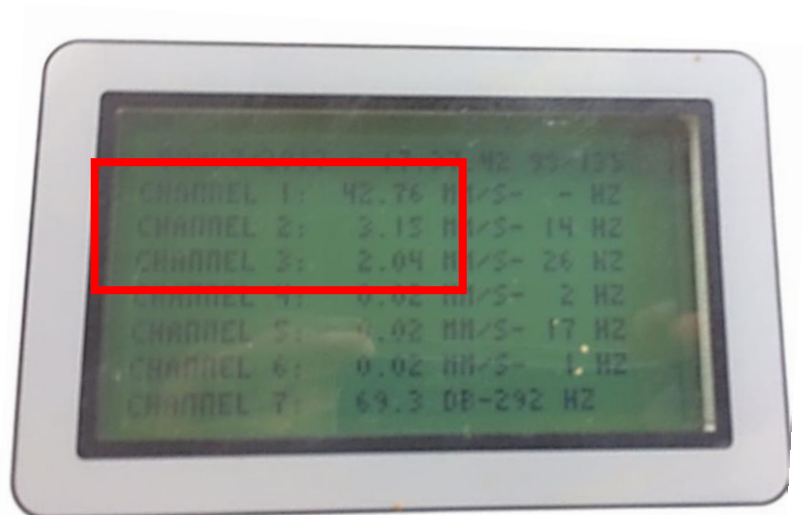
Descriptives				
			Statistic	Std. Error
Hor	Mean		6.2233	3.46252
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-2.6774	
		Upper Bound	15.1240	
	5% Trimmed Mean		5.8709	
	Median		1.9150	
	Variance		71.934	
	Std. Deviation		8.48140	
	Minimum		-.18	
	Maximum		18.97	
	Range		19.15	
	Interquartile Range		15.96	
	Skewness		.963	.845
	Kurtosis		-1.323	1.741
Tra	Mean		4.4617	6.12903
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-11.2935	
		Upper Bound	20.2169	
	5% Trimmed Mean		3.3624	
	Median		-.1150	
	Variance		225.390	
	Std. Deviation		15.01301	
	Minimum		-6.02	
	Maximum		34.73	
	Range		40.75	
	Interquartile Range		11.86	
	Skewness		2.309	.845
	Kurtosis		5.522	1.741
Ver	Mean		-13.8533	7.65641
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	-33.5348	
		Upper Bound	5.8281	
	5% Trimmed Mean		-13.1770	
	Median		-5.8050	
	Variance		351.724	
	Std. Deviation		18.75430	
	Minimum		-41.66	
	Maximum		1.78	
	Range		43.44	
	Interquartile Range		36.37	
	Skewness		-.884	.845
	Kurtosis		-1.402	1.741

**Figura 42 - Análise para o intervalo de confiança da média e do resíduo**

Em relação ao segundo desmonte, foram obtidos, no iPhone, os resultados da Figura 43 que se encontram assinalados a vermelho. Simultaneamente o sismógrafo registou os valores das velocidades longitudinalmente, transversalmente e verticalmente, desta vez assinaladas nos canais 1, 2 e 3, apresentados na Figura 44.



**Figura 43 - Da esquerda para a direita: Velocidade máxima em X; Velocidade máxima em Y e velocidade máxima em Z (em mm/s)**



**Figura 44 - Resultados obtidos no sismógrafo *Instantel* (em mm/s) após o segundo desmonte**

Podemos agora calcular o PPV para ambos os casos, como mencionado no capítulo 1:

$$1) \text{ PPV iPhone } \sqrt{1,1^2 + 3,0^2 + 2,3^2} = 3,94 \text{ mm/s}$$

$$2) \text{ PPV Sismógrafo: } \sqrt{42,76^2 + 3,15^2 + 2,04^2} = 42,92 \text{ mm/s}$$

$$\text{Diferença de PPV's: } |3,94 - 42,92| = 38.98 \text{ mm/s}$$

## 8. Discussão de resultados

Através da análise dos resultados referentes aos testes efetuados em campo (África), durante o desmonte de rocha de uma mina podemos afirmar que:

- ❖ Se obtiveram resultados bastante favoráveis, nomeadamente em termos de comparação direta do resultado obtido no canal 5 e 6 do sismógrafo Instantel com os resultados obtidos no iPhone em Y e o em Z (para a primeira pega de fogo) e comparação dos resultados obtidos, na segunda pega, no canal 2 e 3 relativamente aos obtidos no iPhone (em Y e Z).
- ❖ Em relação ao eixo longitudinal existe uma discrepância significativa, possivelmente, devido ao facto do geofone que se encontra associado ao primeiro canal se encontrar com algum defeito, o que não permite a correta medição do canal 1 e 4, respetivamente. No entanto, o erro deve ser investigado e não se podem tirar conclusões concretas com apenas dois ensaios.
- ❖ Até ao momento de entrega deste projeto não foi possível executar mais nenhum ensaio de campo com diferentes geofones/sismógrafos, por isso este problema terá de ser estudado no futuro com novos ensaios.
- ❖ Nos ensaios de campo podemos dizer que o iPhone se mostrou devidamente preparado e apresentou sensibilidade suficiente para “ler” a vibração num raio de 265 metros, para o desmonte com carga de explosivos igual ou superior a 33 573,2 kg.
- ❖ Apesar do alto valor da variância (Figura 42 - Análise para o intervalo de confiança da média e do resíduoFigura 42) que nos indica que se tornam necessários mais estudos, podemos comprovar que no intervalo de confiança de 95% (para a média), o zero encontra-se nele contido. Assim não podemos descartar a possibilidade que os dados vêm da mesma amostra.
- ❖ Supondo que o eixo longitudinal do sismógrafo se encontra a funcionar corretamente (no segundo desmonte) um valor tão discrepante para a diferença de valores no PPV permite-nos concluir que o iPhone não se encontra preparado para o efeito destinado.

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

- ❖ Apesar dos resultados, em parte, serem favoráveis, torna-se crucial a validação através de mais ensaios, onde devem ser testadas outras variáveis e em condições mais rigorosas: investigação do eixo longitudinal, outro material constituinte do suporte, outras distâncias em relação à frente de desmonte, orientação do iPhone, entre outras.
- ❖ Desta forma conclui-se o supramencionado: que apenas dois ensaios não são suficientes para tirar conclusões plausíveis, deixando-nos apenas com indícios da potencialidade do iPhone.

## 9. Considerações finais

Em relação à aplicação desenvolvida (propriamente dita), podem ser tecidas algumas considerações:

- ❖ O Xcode é uma ferramenta com muito potencial para fins de Engenharia, devido ao seu fácil manuseamento e sua vasta gama de opções e aplicações.
- ❖ Uma aplicação deste calibre, que pode simplesmente ser transportada num telemóvel, apresenta uma mais-valia na *toolbox* de qualquer Engenheiro de Minas.
- ❖ A facilidade com que o utilizador consegue conectar-se à *Internet* e enviar os seus registos por correio eletrónico, de forma a criar um *back-up* de todos os seus dados, também representa uma grande vantagem desta aplicação.
- ❖ Uma outra vantagem é o facto de os dados serem enviados por correio eletrónico numa forma simples e fácil de manusear, ou seja, o utilizador pode facilmente utilizá-los em ferramentas comuns: Exel, Matlab, etc.

Em relação ao suporte podem ser tecidos três comentários:

- ❖ Como o sinal, no percurso entre o solo e o sensor, não pode ser amortecido, retardado ou de alguma maneira distorcido, deve-se arranjar uma forma de colocar o iPhone perfeitamente rígido, o que não acontece com o suporte desenvolvido neste projeto.
- ❖ Este suporte cria 3 interfaces: solo/parafuso, suporte/velcro/proteção, proteção/ar /iPhone. Nestas fases existem atenuações, que causarão diminuição do PPV;
- ❖ A sua fixação no terreno através dos parafusos com porca em orelhas levou a resultados favoráveis em dois eixos, mas deve ser obviamente aprimorada.

Finalmente e como conclusões retiradas de todo o trabalho realizado durante todos estes meses pode-se dizer que:

- ❖ Foi cumprido o que foi proposto inicialmente para este projeto: foi possível gerar uma aplicação onde o acelerómetro do iPhone lê, efetivamente, as vibrações geradas por um desmonte de rocha e apresenta o valor das velocidades máximas na interface do iPhone.
- ❖ Existem movimentos internos do próprio sistema-sensor em consequência da inércia que as suas peças não rígidas produzem, introduzindo um sinal interno parasita dificilmente quantificável.
- ❖ A sua utilização apresenta vantagens óbvias como o seu preço reduzido e as suas dimensões, reduzindo assim as despesas da empresa mineira e o desconforto do transporte de um sismógrafo.
- ❖ O facto de permitir um *back-up* em tempo real, funciona como uma mais-valia para o funcionário encarregado, permitindo também a passagem de informação (através de correio eletrónico) para outros departamentos que podem analisar de imediato os dados obtidos.
- ❖ Dois ensaios não são suficientes para validar ou invalidar o uso do iPhone como instrumento de monitoramento de desmonte de rocha por isso deve-se proceder à realização de mais ensaios.
- ❖ Deve-se ter em consideração que a precisão de um acelerómetro presente no iPhone, atualmente, não se compara com a precisão de sensor presente no sismógrafo. No entanto, através da continuação de estudos profundos e desenvolvimento de tecnologias, o iPhone poderá tornar-se um auxiliar ou substituto de um sistema de monitorização de vibrações.

Deve-se ter sempre em mente que este projeto apenas serviu como base para procurar indícios de que o iPhone seria capaz de captar as vibrações geradas durante desmontes de rocha.

Assim sendo, após o desenvolvimento de todo o projeto que envolveu a criação desta ferramenta, podemos dizer que a mesma foi concluída com sucesso e ainda acrescentar que esta se encontra disponível na App Store (Figura 44).



**Figura 45 – Aplicação O-Pitblast incorporada com o módulo de monitorização de vibrações**

## 10. Trabalhos futuros

Uma perspectiva obrigatória para ser realizada no futuro engloba a realização de outros testes para a validação rigorosa da aplicação criada. Portanto sugere-se que se executem testes no campo, durante a ocorrência de desmontes em pedreiras ou minas, de forma a verificar se os resultados obtidos serão válidos em comparação com os obtidos por um equipamento de medição de vibração para a mesma detonação. Para além disso, devem-se realizar testes onde serão avaliados e investigados outros fatores, como por exemplo: erro do eixo longitudinal, outros materiais para o suporte, diferentes distâncias à frente de desmonte, entre muitos outros.

Como trabalhos futuros sugere-se ainda a construção de um “estojo” para o iPhone, como nos mostra a Figura 46 e a Figura 47, para que as vibrações sejam diretamente captadas no solo (através dos ganchos uniformizados que se acoplam no terreno), e não haja influência direta no dispositivo. Para além disso, a capa deve ser feita à medida do iPhone que será usado, para impedir que este se desloque no interior da mesma. Finalmente, o material usado para a capa deve ser um bom condutor para permitir a fácil passagem das vibrações.



**Figura 46 – Protótipo do “estojo” desenhado para iPhone**



Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

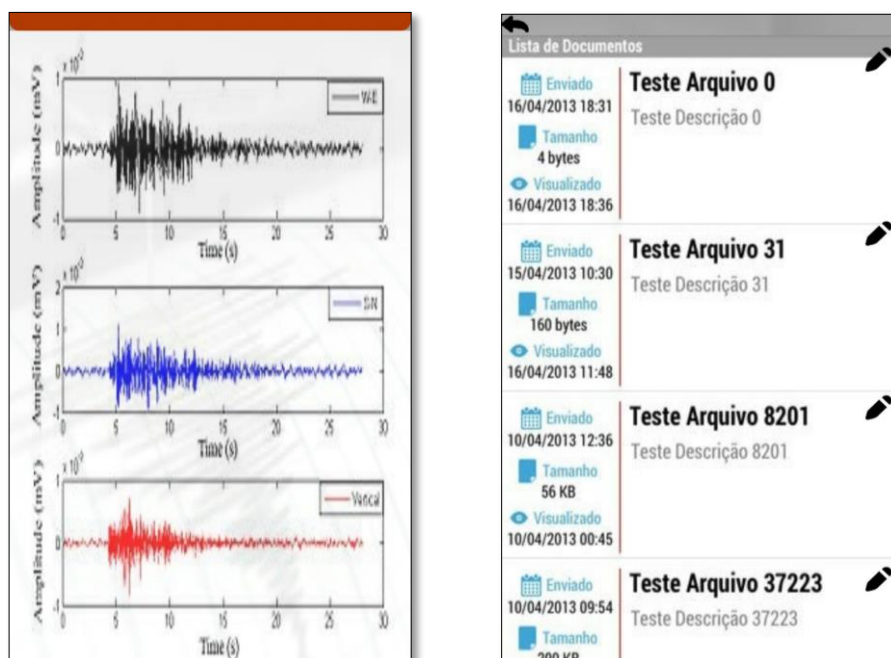
Por outras palavras construir um estojo que permita ao utilizador o seu fácil transporte e ainda a sua fácil utilização (onde possa guardar os parafusos diretamente dentro da capa), como nos mostra a Figura 47.



**Figura 47 – Modo de funcionamento do “estojo” desenhado para iPhone**

Finalmente, sugere-se que no futuro exista uma dinamização da Interface do Utilizador, de forma ao mesmo conseguir obter mais regalias, tais como:

- ❖ Registo dos dados: sob a forma de ficheiro ou gráfico (por exemplo curvas de velocidade) (Figura 48);

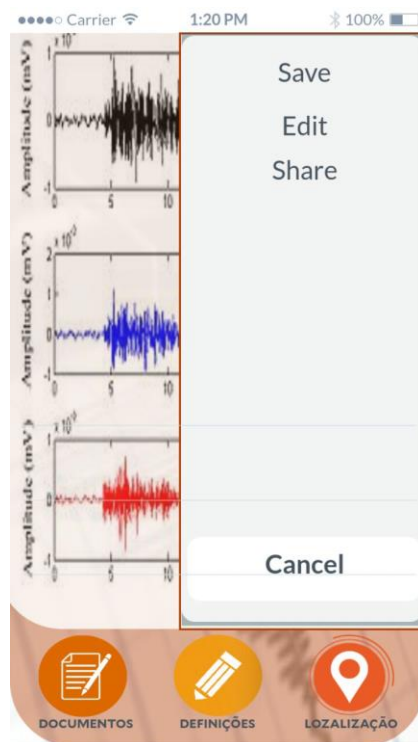


**Figura 48 – À esquerda: interface onde se encontram registados os dados graficamente.**

**À direita: interface onde se encontram registados os dados através de ficheiros**

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

- ❖ Possibilidade de editar, eliminar, guardar ficheiros existentes, entre outras opções (Figura 49);



**Figura 49 – Algumas opções disponíveis para o utilizador executar nos seus ficheiros**

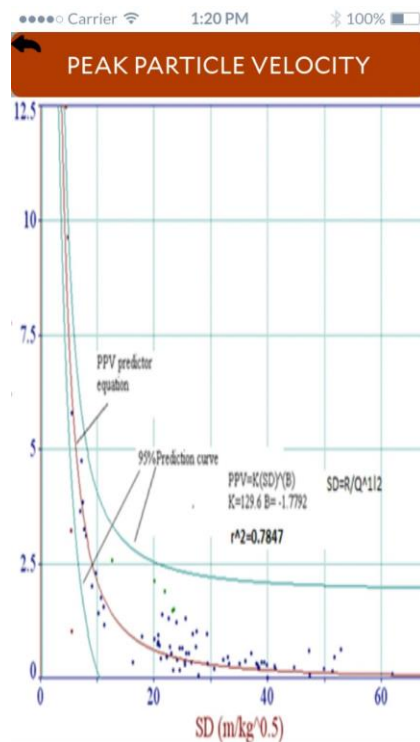
- ❖ Obrigatoriedade de criação de uma conta no primeiro uso da aplicação, bem como a opção de *Login* nas sessões posteriores (Figura 50);



**Figura 50 – À esquerda: Interface de criação de conta na aplicação  
À direita: Interface da opção de *Login* nas sessões seguintes**

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

- ❖ Possibilidade do utilizador visualizar o gráfico final do PPV, em tempo real, bem como o valor final do PPV no ecrã (tendo em conta o país em que se encontra) (Figura 51).



**Figura 51 – Interface de visualização do gráfico PPV em tempo real**

- ❖ Localização através de um sistema semelhante ao *Google Maps*, para que o utilizador possa registar o local onde executou as medições (Figura 52).



**Figura 52 – Interface onde o utilizador pode marcar o local onde executou as medições**

## 11. Referências

- Allan, A. (2017). *Safari - Basic Sensors in iOS*. Obtido de <https://www.safaribooksonline.com/library/view/basic-sensors-in/9781449309480/ch04.html>
- Amanajás, T. (s.d.). *Desenvolvimento iOS: Conheça a linguagem Swift*. Obtido de DEVMEDIA: <http://www.devmedia.com.br/desenvolvimento-ios-conheca-a-linguagem-swift/31860>
- Apple, I. (2017). *Apple*. Obtido em Março de 2017, de <http://www.apple.com/>
- Aroeira, C. (18 de Maio de 2016). *NP 2074 de 2015 Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas*. Obtido de SlideShare: <https://pt.slideshare.net/CarlosAroeira/np-2074-de-2015-avaliao-da-influncia-de-vibraes-impulsivas-em-estruturas>
- Arvidsson, N. (21 de Novembro de 2016). *CareerFoundry*. Obtido de <https://careerfoundry.com/en/blog/ios-development/what-is-xcode/>
- Bernardo, P., & Gama, C. D. (s.d.). *SUGESTÕES PARA MELHORIA DA NORMA PORTUGUESA DE CONTROLE DE VIBRAÇÕES EM CONSTRUÇÕES*. Centro de Geotecnia do IST.
- Bosch. (2017). *Bosch*. Obtido de Bosch Sensortec: [https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all\\_products/bma280](https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bma280)
- CETESB, D. P. (2015). *DECISÃO DE DIRETORIA Nº 052/2015/I/C, de 24 de fevereiro de 2015*. Diário Oficial Estado de São Paulo.
- Coelho, M. I. (2 de Junho de 2014). *Apple apresenta Swift: uma nova linguagem de programação*. Obtido de pplware: <https://pplware.sapo.pt/apple/apple-apresenta-swift-uma-nova-linguagem-de-programacao/>

- Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha
- Conceito.DE. (s.d.). *Conceito de Servidor*. Obtido de Conceito.DE: <http://conceito.de/servidor>
- Couto, R. T. (1990). *LAVRAS A CÉU ABERTO E EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Damage, V. (11 de Agosto de 2017). *Vibration Frequencies*. Obtido de VibrationDamage: [http://vibrationdamage.com/vibration\\_frequencies.htm](http://vibrationdamage.com/vibration_frequencies.htm)
- Damage, V. (08 de Agosto de 2017). *Vibration Standards*. Obtido de VibrationDamage: [http://vibrationdamage.com/Vibration\\_standards.htm](http://vibrationdamage.com/Vibration_standards.htm)
- Daniel, F. (1999). *Manual de Utilização de Explosivos em Explorações a Céu Aberto*. Divisão de Minas e Pedreiras do IGM.
- dBi. (s.d.). *"Sismógrafo - o que é"*. Obtido em Março de 2017, de <https://www.dbi.pt/sismografo-o-que-e/>
- Dixon-Warren, S. (25 de Setembro de 2014). *Comparing the InvenSense and Bosch Accelerometers Found in the iPhone 6*. Obtido de ChipWorks: <https://www.chipworks.com/about-chipworks/overview/blog/comparing-invensense-and-bosch-accelerometers-found-iphone-6>
- DOWDING, C. H. (1985). *Blast Vibration Monitoring and Control*.
- FLR Mussoi. (2006). *Sinais Senoidais Tensão e Corrente Alternada*.
- Geociências, U. d.-I. (s.d.). *Observatório Sismológico - Universidade de Brasília*. Obtido em Março de 2017, de [http://164.41.28.233/obsis/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55&Itemid=66&lang=pt-br](http://164.41.28.233/obsis/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=66&lang=pt-br)
- Gomes, J. P. (2016). *METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES PROVOCADAS POR DESMONTES COM RECURSO A EXPLOSIVOS*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Gouvêa, G. &. (2011). *O que é Desmonte de Rocha em suma definição?* Obtido em Março de 2017, de [http://desmontederochas.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=108:o-que-e-desmonte-de-rocha-em-suma-definicao](http://desmontederochas.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=108:o-que-e-desmonte-de-rocha-em-suma-definicao)
- Grunsky, E. C. (2010). Computer & Geosciences. *ELSEVIER*(iSeismometer: A geoscientific iPhone application), 2.
- HAMMING, R. W. (1971). *Numerical Methods for Scientists and Engineers*.

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

Hosseini, M., & Baghikhani, M. S. (2013). Analysing the Ground Vibration Due to Blasting at AlvandQoly Limestone Mine. *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*.

HTML.net. (17 de Novembro de 2016). *Lição 1: O que é PHP*. Obtido de HTML.net: <http://pt-br.html.net/tutorials/php/lesson1.php>

Hustrulid, W. (1999). *Blasting Principles for Open Pit Mining Vol 1*. Colorado School of Mines, Colorado, USA.

Incorporated Research Institutions for Seismology, I. (s.d.). *Como Trabaja un Sismógrafo?* Washington, DC.

Instantel. (s.d.). *Minimate Pro 6*. Obtido em Março de 2017, de <http://www.instantel.com/products/MinimatePro6.aspx>

Instituto Geológico Mineiro, I. (1999). *Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto*. Obtido em Março de 2017, de [http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes\\_online/diversos/boa\\_pratica/indice.htm](http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/boa_pratica/indice.htm)

*Integração Numérica*. (15 de Abril de 2017). Obtido de Técnico Lisboa: <https://www.math.tecnico.ulisboa.pt/~calves/courses/integra/>

JJHOOW. (25 de Maio de 2011). *O que orientação a objetos*. Obtido de JJHOOW: <https://jjhoow.wordpress.com/2011/05/25/o-que-e-orientacao-a-objetos/>

Junior, D. R. (10 de 12 de 2009). *Tec Mundo - O que são Mems?* Obtido de <https://www.tecmundo.com.br/nanotecnologia/3254-o-que-sao-mems-.htm>

Lebowitz, L. (1996). *A History of MTS*", *Information Technology Digest*. EUA.

Lima, G. A. (2001). *Análise dos Impactos das Vibrações Geradas por Desmontes em Taludes das Minerações – Estudo de Caso da Mina de Timbopeba em Ouro Preto (MG)*.

Llera, D. J., Jimeno, D. C., Urbina, D. F., & Jimeno, D. E. (s.d.). *MANUAL DE PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS*. Instituto Geologico y Minero de España .

Lnec, N. d. (24 de Abril de 2005). *Como se mede um sismo?* Obtido em Março de 2017, de [http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/mede\\_sismo.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/mede_sismo.html)

Lovi, R. (2017). *O que é UI – User Interface?* Obtido de RAFFCOM: <http://www.raffcom.com.br/blog/o-que-e-ui/>

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

- Machado, H. (s.d.). *Os 4 pilares da Programação Orientada a Objetos*. Obtido de DevMedia: <http://www.devmedia.com.br/os-4-pilares-da-programacao-orientada-a-objetos/9264>
- Marques, E. (21 de Janeiro de 2016). *App Store vs. Google Play: loja da Apple tem metade dos downloads, mas o dobro da receita*. Obtido de MACMAGAZINE: <https://macmagazine.com.br/2016/01/21/app-store-vs-google-play-loja-apple-tem-metade-downloads-mas-dobro-receita/>
- Mechatronics, H. t. (2017). *How to Mechatronics*. Obtido de [www.HowtoMechatronics.com](http://www.HowtoMechatronics.com)
- Miranda, V. G., Leite, F. S., Jesus, C., & Sobral, R. (2017). *A New Blast Vibrations Analysis Methodology*. Colorado, USA: International Society of Explosives Engineers: ISEE.
- Neuburg, M. (2015). *iOS 8 - Programming Fundamentals with Swift*. United States of America: O'REILLY.
- Oliveira, J. G. (2009). *Desmonte de rocha a céu aberto com recurso a explosivos*. Universidade de Aveiro.
- Prada, R. (26 de Agosto de 2009). *"O que é um acelerômetro?"*. Obtido em Março de 2017, de <https://www.tecmundo.com.br/curiosidade/2652-o-que-e-um-acelerometro-.htm>
- Rocha, F. S., & Marranghello, G. F. (2013). *Propriedades de um acelerômetro eletrônico e possibilidades de uso no ensino de mecânica*. Universidade Federal de Pelotas, Centro de Integração do Mercosul.
- Sanchez, M. (2014). *Laboratório de Dinâmica e Simulação Veicular (LDSV)*. Obtido de [http://www.usp.br/ldsv/?page\\_id=2093](http://www.usp.br/ldsv/?page_id=2093)
- Sanchidrián, J. A., & Muñoz, E. (s.d.). *Curso de Tecnología de Explosivos*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas: Fundacion Gomez Pardo.
- Sensimed. (s.d.). *SENSIMED Triggerfish® - 24 hour profile of ocular dimensional changes*. Obtido de <http://www.sensimed.com/>
- Sinicki, A. (9 de Junho de 2016). *Developing for Android vs developing for iOS – in 5 rounds*. Obtido de <http://www.androidauthority.com/developing-for-android-vs-ios-697304/>
- Siskind, D. E. (2000). *Vibration from Blasting*. International Society of Explosives Engineers.

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

Solutions, C. A. (10 de Agosto de 2017). *Peak Particle Velocity - Why do we monitor it?* Obtido de Campbell Associates: Sound & Vibration Solutions : <http://www.campbell-associates.co.uk/peak-particle-velocity-why-do-we-monitor-it>

STMicroelectronics. (2017). *LIS331DLH - MEMS motion sensor: Ultra low power high performance 3-axis digital accelerometer.* Obtido de <http://www.st.com/en/mems-and-sensors/lis331dlh.html>

Stuart, J. (1999). *Cálculo* .

TDK. (2017). *MPU-6500 Six-Axis (Gyro + Accelerometer) MEMS MotionTracking™ Devices.* Obtido de TDK: InvenSense: <https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/>

Teas, M. (13 de Dezembro de 2015). *Quora*. Obtido de <https://www.quora.com/What-is-Xcode-and-why-do-I-need-it/answer/Malcolm-Teas>

Tomar, E. S. (2006/2007). *Capítulo 1 – Movimento Vibratório e Ondulatório*. INSTITUTO POLITÉCNICO DE TOMAR: Escola Superior de Tecnologia de Tomar.

Torres, H. (10 de 10 de 2014). *Embarcados - MEMS: Sistemas Microeletromecânicos*. Obtido de <https://www.embarcados.com.br/mems/>

Torres, P. (2017). *Diferença entre os métodos GET e POST*. Obtido de Professor Torres - Aprenda Tecnologia de Informação sem Limites: <http://professortorres.com.br/diferenca-entre-os-metodos-get-e-post/>

Universidade Federal de Ouro Preto, U. (30 de Janeiro de 2013). *Laboratório Imobilis - Computação móvel.* Obtido de <http://www.decom.ufop.br/imobilis/acelerometros-uso-em-celulares-e-deteccao-de-velocidade-parte-1/>





# Anexos



## Anexo A - Ficha técnica relativa ao sismógrafo Instantel ® Minimate Pro 6

# Minimate Pro6™

## General Specifications

Minimate Pro6 Channels	Channels 1-3, ISEE (or DIN) Triaxial Geophone, and Channels 4-6, a second ISEE (or DIN) Triaxial Geophone, or an ISEE Linear Microphone	
Geophone	Up to 254 mm/s (10 in/s)	
Range	ISEE Seismograph Specification or DIN 45669-1	
Response Standard	0.00788 mm/s (0.00031 in/s)	
Resolution	2 to 250 Hz, within zero to -3 dB of an ideal flat response / 1 to 315 Hz or 1 to 80 Hz	
Frequency Range (ISEE / DIN)	+/- 5% or 0.5 mm/s (0.02 in/s), whichever is larger, between 4 and 125 Hz / DIN 45669-1 standard	
Accuracy (ISEE / DIN)	2.13 g/cc (133 lbs/ft³)	
Transducer Density	75 m (250 ft) / 1,000 m (3,280 ft)	
Maximum Cable Length (ISEE / DIN)		
Microphones (Sold separately)	<b>ISEE Linear Microphone</b>	<b>Sound Level Microphone</b>
Weighting Scales	ISEE Linear Microphone	A-Weight or C-Weight
Response Standard	ISEE Seismograph Specification (2011)	Fast (125s) or Slow (1s)
Range	2 to 500 Pa (0.00029 to 0.0725 psi [88 to 148 dB])	30 to 140 dB A or C
Resolution	0.0156 Pa (2.2662x10 <sup>-6</sup> psi)	0.05 dB (Display limit 0.1dB)
Frequency Response	2 to 250 Hz between -3 dB roll off points	Up to 20 kHz
Accuracy	+/- 10% or +/- 1dB, whichever is larger, between 4 and 125 Hz	IEC 61672 Class 1
Maximum Cable Length	75 m (250 ft)	75 m (250 ft)
Optional Advanced Sensors	High Pressure Microphone, High Frequency Geophone, Uniaxial and Triaxial Accelerometer, and Hydrophone	
Contact Instantel for more information		

## Waveform Recording

Record Modes	Waveform, Waveform Manual
Seismic Trigger	0.13 to 254 mm/s (0.005 to 10 in/s)
Linear Acoustic Trigger	2.0 to 500 Pa (0.00029 to 0.0725 psi)
Sample Rate	512, 1,024, 2,048, 4,096, 8,192, 16,384, 32,768, 65,536 S/s per channel (independent of record time)
Record Stop Mode	Fixed record time, <b>Instantel AutoRecord™</b> record stop mode
Record Time	1-9,000 seconds (1-30 seconds, then 30-second increments up to 150 minutes) plus a 0.25 second pre-trigger
AutoRecord Time	Event is recorded until activity remains below trigger level for duration of auto window, or until available memory is filled.
Cycle Time	Recording uninterrupted by event processing, monitoring, or communication - no dead time below 65 KHz.
Minimate Pro6 Storage Capacity	64 MBs. Optional 240 MBs.
Full Waveform Events	7,100-plus 1 second events at 1,024 S/s sample rate with two geophones

## Histogram Recording

Record Modes	Histogram and <b>Instantel Histogram Combo™</b> (monitor captures triggered waveforms while recording in Histogram mode)
Recording Interval	1 to 30 seconds at 1 second intervals, and 30 seconds to 60 minutes at 30 second intervals
Histogram Storage Capacity	512,000 intervals, examples: 11.9 days at 2 second intervals, or 355 days at 1 minute
Histogram Combo Storage Capacity	Example: 30 days of Histogram recording at 1 minute intervals, and over 6,500 1 second waveform events

## Physical Specifications

Dimensions	25.4(l) x 11.75(w) x 10.80(h) cm (10.00 x 4.63 x 4.25 in); length dimension includes connectors and dust caps
Unit Weight	2.27 kg (5 lbs)
Battery	10 Days
User Interface	10 domed tactile with separate keys for common functions
Display	7-line x 32-character, high-contrast, multi-color backlit LCD
PC Interface	Ethernet® cable, supplied, for PC to unit connection (Auto Call Home is not supported over Ethernet), or RS-232 with an optional USB adapter
Auxiliary Inputs and Outputs	External Trigger and Remote Alarm
Environmental	
LCD Operating Temperature	-20 to 45 °C (-4 to 113 °F)
Electronics Operating Temperature	-40 to 45 °C (-40 to 113 °F)
Water Resistance	IP67 – submerge to 30 cm (1 ft.) for 24 hours
Remote Communications	Instantel approved serial communication modems
	Automatically transfers events when they occur through the <b>Instantel Auto Call Home</b> feature
	Monitor start/stop timer
Additional Features	(Optional) <b>Vision</b> provides you and your stakeholders with secure, encrypted, Cloud-based access to the data they need, providing instant sharing for time-sensitive projects.
Electrical Standards	CE Class B

**Corporate Office:**  
309 Leggett Drive,  
Ottawa, Ontario K2K 3A3  
Canada

**US Office:**  
808 Commerce Park Drive,  
Ogdensburg, New York 13669  
USA

Toll Free: (800) 267 9111  
Telephone: (613) 592 4642  
Facsimile: (613) 592 4296  
Email: sales@instantel.com



© 2016 Xmark Corporation. Instantel, the Instantel logo, Auto Call Home, AutoRecord, Blastmate, Blastware, Histogram Combo, InstaLink, and Minimate are trademarks of Stanley Black & Decker, Inc., or its affiliates.

StanleyBlack&Decker

72080002 Rev 10 - Product Specifications are Subject to Change

The World's Most Trusted Monitors — Vibration · Noise · Air Overpressure

Anexo B – Dados recebidos por correio eletrónico  
e utilizados para análise no  
programa *Excel*

nr	Tempo (s)	Aceleração em X (m/s <sup>2</sup> )	Velocidade em X (mm/s)
0	0	-0,99448	0
1	0,009803922	-0,99541	0,154884191
2	0,019607843	-0,99475	0,284121324
3	0,029411765	-0,99303	0,592896773
4	0,039215686	-0,995	0,884689951
5	0,049019608	-0,99883	0,830777696
6	0,058823529	-0,99928	0,654805923
7	0,068627451	-1,00175	0,22326299
8	0,078431373	-0,99786	0,028884109
9	0,088235294	-0,99594	0,107276838
10	0,098039216	-0,99382	0,530065931
11	0,107843137	-0,99913	0,614349469
12	0,117647059	-0,99889	0,460529453
13	0,12745098	-0,998	0,356213603
14	0,137254902	-0,99791	0,286547998
15	0,147058824	-0,99733	0,305057516
16	0,156862745	-0,9968	0,413402982
17	0,166666667	-0,99728	0,520541789
18	0,176470588	-0,9982	0,578252124
19	0,18627451	-0,99907	0,574881495
20	0,196078431	-0,99933	0,57332308
21	0,205882353	-0,99953	0,603743342
22	0,215686275	-1,00098	0,568883824
23	0,225490196	-1,00172	0,480668627
24	0,235294118	-1,00238	0,215760335
25	0,245098039	-0,99905	0,182209886
26	0,254901961	-1,00134	0,03835482
27	0,264705882	-0,99879	-0,090851144
28	0,274509804	-0,99481	0,172592239
29	0,284313725	-0,99477	0,681169853
30	0,294117647	-0,99879	0,917999959
31	0,303921569	-0,99989	0,974147426
32	0,31372549	-1,00443	0,589241176
33	0,323529412	-1,00438	-0,108430065
34	0,333333333	-1,00006	-0,63182598
35	0,343137255	-0,99432	-0,646092157
36	0,352941176	-0,99173	-0,447977533
37	0,362745098	-0,98698	0,197900899
38	0,37254902	-0,9912	0,61654906
39	0,382352941	-0,99275	0,62218607

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

40	0,392156863	-0,99161	0,70897643
41	0,401960784	-0,9957	0,472591585
42	0,411764706	-0,99329	0,326741748
43	0,421568627	-0,99263	0,373516462
44	0,431372549	-0,99298	0,465031046
45	0,441176471	-0,99342	0,639707108
46	0,450980392	-0,99489	0,753542647
47	0,460784314	-0,99445	0,969904085
48	0,470588235	-0,99886	0,93486201
49	0,480392157	-1,00197	0,518030515
50	0,490196078	-1,00246	-0,199917933
51	0,5	-0,99551	-0,521231944
52	0,509803922	-0,99191	-0,369825245
53	0,519607843	-0,98999	0,052068873
54	0,529411765	-0,99048	0,531642157
55	0,539215686	-0,99045	1,030290441
56	0,549019608	-0,9948	1,235453554
57	0,558823529	-0,99818	1,218270915
58	0,568627451	-1,00581	0,346043832
59	0,578431373	-0,99667	-0,060893954
60	0,588235294	-0,99803	-0,327859355
61	0,598039216	-0,99203	-0,138765727
62	0,607843137	-0,99368	0,025891953
63	0,617647059	-0,98933	0,498323243
64	0,62745098	-0,99524	0,59045674
65	0,637254902	-0,99226	0,758039788
66	0,647058824	-0,99625	0,730678472
67	0,656862745	-0,99632	0,646190114
68	0,666666667	-0,99896	0,372479003
69	0,676470588	-0,99541	0,324809314
70	0,68627451	-0,995	0,563562949
71	0,696078431	-0,99736	0,700783619
72	0,705882353	-0,99858	0,714831618
73	0,715686275	-1,00095	0,446775327
74	0,725490196	-1,00014	0,10937402
75	0,735294118	-0,99805	-0,086269404
76	0,745098039	-0,9946	0,052122304
77	0,754901961	-0,99399	0,403322263
78	0,764705882	-0,99625	0,582299551
79	0,774509804	-0,99727	0,592927941
80	0,784313725	-0,9982	0,449362296
81	0,794117647	-0,99722	0,3352596
82	0,803921569	-0,99651	0,347406332



Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

83	0,81372549	-0,99788	0,250272549
84	0,823529412	-0,99608	0,252921855
85	0,833333333	-0,99637	0,207180147
86	0,843137255	-0,99367	0,397618464
87	0,852941176	-0,99695	0,393241544
88	0,862745098	-0,99582	0,347628962
89	0,87254902	-0,99547	0,332779493
90	0,882352941	-0,99474	0,351124265
91	0,892156863	-0,99516	0,482592157
92	0,901960784	-0,99727	0,366926593
93	0,911764706	-0,99335	0,516583415
94	0,921568627	-0,99548	0,772866993
95	0,931372549	-1,00092	0,448271405
96	0,941176471	-0,99614	0,314960131
97	0,950980392	-0,99855	0,032432843
98	0,960784314	-0,99463	-0,023242647
99	0,970588235	-0,99554	-0,060568913
100	0,980392157	-0,98891	0,486425858
101	0,990196078	-0,99336	0,982665278
102	1	-0,99448	1,513216544
103	1,009803922	-1,00607	1,068774387
104	1,019607843	-1,00134	0,623544118
105	1,029411765	-1,00456	0,004301225
106	1,039215686	-0,99948	-0,323028268
107	1,049019608	-0,99936	-0,62451924
108	1,058823529	-0,99065	-0,321046855
109	1,068627451	-0,99095	0,249413194
110	1,078431373	-0,99147	0,754068056
111	1,088235294	-0,99448	1,046302042
112	1,098039216	-0,99837	0,962775449
113	1,107843137	-1,00053	0,556714828
114	1,117647059	-0,99753	0,431565196
115	1,12745098	-0,99812	0,540961479
116	1,137254902	-0,99841	0,741805556
117	1,147058824	-0,99916	1,066481291
118	1,156862745	-1,00468	1,09633607
119	1,166666667	-1,00737	0,617190237
120	1,176470588	-1,00543	0,131116136
121	1,18627451	-1,0058	-0,342081005
122	1,196078431	-1,00522	-1,295456985
123	1,205882353	-0,98692	-0,975518832
124	1,215686275	-0,99312	-0,748359804
125	1,225490196	-0,98738	-0,448810172

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

126	1,235294118	-0,98322	0,086928391
127	1,245098039	-0,976	1,728785417
128	1,254901961	-0,99777	2,215531863
129	1,264705882	-0,99857	2,053977655
130	1,274509804	-1,00241	1,835358742
131	1,284313725	-1,01047	1,152768505
132	1,294117647	-1,0143	-0,115705637
133	1,303921569	-1,00095	-0,46236393
134	1,31372549	-1,00124	-0,359423938
135	1,323529412	-1,00124	-0,331777655
136	1,333333333	-0,99734	-0,209985294
137	1,343137255	-0,99213	0,408870221
138	1,352941176	-0,99806	0,747068546
139	1,362745098	-0,99957	0,75463799
140	1,37254902	-0,9996	0,71628317
141	1,382352941	-1,0015	0,570620343
142	1,392156863	-1,0014	0,488193546
143	1,401960784	-1,00079	0,527835172
144	1,411764706	-0,99966	0,890954779
145	1,421568627	-1,00568	0,922051838
146	1,431372549	-1,0058	0,797387541
147	1,441176471	-1,00751	0,562903962
148	1,450980392	-1,00813	0,155770261
149	1,460784314	-1,00659	-0,289197304
150	1,470588235	-1,00279	-0,527746119
151	1,480392157	-1,0002	-0,650829739
152	1,490196078	-0,99432	-0,354668546
153	1,5	-0,99223	0,313717851
154	1,509803922	-0,99414	0,977513603
155	1,519607843	-0,9971	1,533030678
156	1,529411765	-1,00282	1,755367525
157	1,539215686	-1,00826	1,562475817
158	1,549019608	-1,01219	1,005756536
159	1,558823529	-1,01352	0,240654902
160	1,568627451	-1,01157	-0,504160621
161	1,578431373	-1,00615	-0,960348775
162	1,588235294	-0,99895	-0,81136875
163	1,598039216	-0,99677	-0,385801225
164	1,607843137	-0,99426	0,234675041
165	1,617647059	-0,9949	0,840439869
166	1,62745098	-0,99789	1,297425041
167	1,637254902	-1,00421	1,282909518
168	1,647058824	-1,00635	0,92212308

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

169	1,656862745	-1,00458	0,815963848
170	1,666666667	-1,00931	0,463089706
171	1,676470588	-1,00751	0,096149755
172	1,68627451	-1,00629	-0,207238031
173	1,696078431	-1,00253	-0,279428268
174	1,705882353	-1,00073	-0,21275482
175	1,715686275	-0,99771	0,085312092
176	1,725490196	-0,9995	0,23561009
177	1,735294118	-0,99855	0,303374428
178	1,745098039	-0,998	0,443930106
179	1,754901961	-0,99828	0,606829003
180	1,764705882	-0,9991	0,808029289
181	1,774509804	-1,00139	0,957329902
182	1,784313725	-1,00449	0,872899428
183	1,794117647	-1,00377	0,905853227
184	1,803921569	-1,00703	0,786505351
185	1,81372549	-1,00792	0,556465482
186	1,823529412	-1,00998	0,060800449
187	1,833333333	-1,00676	-0,4400875
188	1,843137255	-1,00153	-0,57156875
189	1,852941176	-0,99896	-0,496555556
190	1,862745098	-0,99568	-0,16855817
191	1,87254902	-0,99532	0,149407475
192	1,882352941	-0,99329	0,591503105
193	1,892156863	-0,99698	0,746503064
194	1,901960784	-0,99994	0,407708088
195	1,911764706	-1,00037	-1,885521895
196	1,921568627	-0,99783	-6,04014951
197	1,931372549	-0,98608	-13,12634726
198	1,941176471	-0,94095	-24,0371315
199	1,950980392	-0,772	-19,05312431
200	1,960784314	-0,772	-10,14403513
201	1,970588235	-0,58113	18,09743742
202	1,980392157	-0,73499	55,73164212
203	1,990196078	-1,24229	50,71644882
204	2	-1,24361	33,42609228
205	2,009803922	-1,40114	4,656317034
206	2,019607843	-1,30409	-23,28671904
207	2,029411765	-1,10023	-29,49219412
208	2,039215686	-1,02426	-24,24408011
209	2,049019608	-0,92915	-10,8229297
210	2,058823529	-0,9267	4,065134518
211	2,068627451	-1,00241	11,72367578

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

212	2,078431373	-1,11031	4,945834926
213	2,088235294	-1,05392	-3,393279534
214	2,098039216	-1,03119	-9,599814338
215	2,107843137	-0,97612	-11,36526703
216	2,117647059	-0,93243	-8,639465564
217	2,12745098	-0,89461	-2,38136058
218	2,137254902	-0,91496	3,742199755
219	2,147058824	-0,94731	7,044271936
220	2,156862745	-0,96194	8,9365529
221	2,166666667	-0,98575	10,78901413
222	2,176470588	-1,05473	7,810651471
223	2,18627451	-1,0685	1,882756822
224	2,196078431	-1,0585	-4,136598979
225	2,205882353	-1,02759	-8,893567361
226	2,215686275	-0,97464	-9,666269608
227	2,225490196	-0,95259	-8,534726716
228	2,235294118	-0,92358	-5,898142279
229	2,245098039	-0,89764	-1,156130229
230	2,254901961	-0,89081	5,75794281
231	2,264705882	-0,93915	11,00618595
232	2,274509804	-0,99431	12,28096054
233	2,284313725	-1,02721	11,06589996
234	2,294117647	-1,06017	7,631415931
235	2,303921569	-1,08514	2,416322508
236	2,31372549	-1,09792	-4,764733742
237	2,323529412	-1,04308	-9,399709395
238	2,333333333	-0,97951	-8,260534722
239	2,343137255	-0,96523	-4,112025
240	2,352941176	-0,98811	-2,779927451
241	2,362745098	-0,96025	-1,778245057
242	2,37254902	-0,94521	0,96803844
243	2,382352941	-0,96451	2,902935376
244	2,392156863	-0,97539	4,064720425
245	2,401960784	-0,9919	4,663721732
246	2,411764706	-1,00801	4,193004698
247	2,421568627	-1,00394	4,722108864
248	2,431372549	-1,02696	5,10683701
249	2,441176471	-1,067	1,778984191
250	2,450980392	-1,05147	-2,131061315
251	2,460784314	-1,0258	-4,410439216
252	2,470588235	-1,00427	-4,799183619
253	2,480392157	-1,00087	-5,123262704
254	2,490196078	-0,97948	-5,313091013

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

255	2,5	-0,94525	-3,273967279
256	2,509803922	-0,93826	0,416965074
257	2,519607843	-0,9558	3,399059028
258	2,529411765	-0,96967	5,247886928
259	2,539215686	-0,98236	6,728919975
260	2,549019608	-1,01582	6,328589869
261	2,558823529	-1,03586	4,242045792
262	2,568627451	-1,04779	0,824361479
263	2,578431373	-1,03494	-1,95060576
264	2,588235294	-1,02419	-3,961580065
265	2,598039216	-0,99904	-4,296381046
266	2,607843137	-0,99052	-4,018466667
267	2,617647059	-0,97557	-3,277008415
268	2,62745098	-0,96036	-1,732343056
269	2,637254902	-0,95108	0,938606658
270	2,647058824	-0,96886	2,849299183
271	2,656862745	-0,98277	3,229365441
272	2,666666667	-0,98337	3,753852247
273	2,676470588	-1,00014	3,808316626
274	2,68627451	-1,01346	3,16098219
275	2,696078431	-1,01939	2,363265155
276	2,705882353	-1,0231	1,489435131
277	2,715686275	-1,02483	0,680332761
278	2,725490196	-1,02942	-0,68876156
279	2,735294118	-1,02249	-2,261807884
280	2,745098039	-1,00871	-3,390603513
281	2,754901961	-0,99287	-3,666153554
282	2,764705882	-0,97937	-3,067178962
283	2,774509804	-0,96844	-1,788739869
284	2,784313725	-0,9586	0,65147982
285	2,794117647	-0,96771	3,006418587
286	2,803921569	-0,97939	4,947090564
287	2,81372549	-1,00233	5,761945711
288	2,823529412	-1,02473	4,624676757
289	2,833333333	-1,03183	2,837642239
290	2,843137255	-1,04613	-0,161318219
291	2,852941176	-1,03633	-3,516314175
292	2,862745098	-1,00732	-5,186004493
293	2,87254902	-0,9877	-5,161889134
294	2,882352941	-0,97537	-4,539640727
295	2,892156863	-0,95238	-2,718988971
296	2,901960784	-0,93832	0,986414379
297	2,911764706	-0,96069	3,68273509

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

298	2,921568627	-0,97331	5,150534967
299	2,931372549	-0,99356	5,365809967
300	2,941176471	-1,01541	3,96322308
301	2,950980392	-1,0237	1,627964869
302	2,960784314	-1,0136	0,279334763
303	2,970588235	-1,01642	-0,509076307
304	2,980392157	-1,0144	-1,313788399
305	2,990196078	-0,99869	-1,055705964
306	3	-0,99385	0,096007271
307	3,009803922	-1,00656	0,098282557
308	3,019607843	-1,00159	-0,316162337
309	3,029411765	-0,99718	-0,699340972
310	3,039215686	-0,99051	-0,59910817
311	3,049019608	-0,99081	-0,365274673
312	3,058823529	-0,9873	0,036181944
313	3,068627451	-0,98436	0,964685621
314	3,078431373	-0,98904	1,969671855
315	3,088235294	-0,99483	2,880543178
316	3,098039216	-1,00798	3,114247549
317	3,107843137	-1,01949	2,382602859
318	3,117647059	-1,02585	0,633259722
319	3,12745098	-1,01912	-0,903377574
320	3,137254902	-1,01974	-2,80809469
321	3,147058824	-0,99997	-4,083198775
322	3,156862745	-0,97665	-3,520610948
323	3,166666667	-0,96793	-1,965094567
324	3,176470588	-0,96442	-0,147172263
325	3,18627451	-0,96262	2,010551307
326	3,196078431	-0,97447	3,733383578
327	3,205882353	-0,99078	4,425333211
328	3,215686275	-1,00633	3,99154616
329	3,225490196	-1,019	2,571522835
330	3,235294118	-1,02536	0,448939297
331	3,245098039	-1,01735	-1,284383333
332	3,254901961	-1,00552	-1,926588358
333	3,264705882	-0,99847	-1,824970792
334	3,274509804	-0,99135	-1,25934183
335	3,284313725	-0,98573	-0,33936491
336	3,294117647	-0,98471	0,785076062
337	3,303921569	-0,99205	1,315030678
338	3,31372549	-0,99353	1,621780188
339	3,323529412	-1,00053	1,441266748
340	3,333333333	-1,00291	1,030766871

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

341	3,343137255	-1,00436	0,612537255
342	3,352941176	-1,00308	0,335793913
343	3,362745098	-1,00018	0,619990931
344	3,37254902	-1,00548	0,637511969
345	3,382352941	-1,0027	0,759963317
346	3,392156863	-1,00797	0,516342974
347	3,401960784	-1,00844	-0,126618995
348	3,411764706	-1,00522	-0,872623366
349	3,421568627	-0,99649	-1,138244077
350	3,431372549	-0,99397	-1,26089134
351	3,441176471	-0,98756	-1,106020507
352	3,450980392	-0,98148	-0,47900335
353	3,460784314	-0,97707	0,680346119
354	3,470588235	-0,98183	1,913706944
355	3,480392157	-0,99265	2,434894363
356	3,490196078	-1,00084	2,154780392
357	3,5	-1,00308	1,783623815
358	3,509803922	-1,01085	0,838672181
359	3,519607843	-1,00697	0,099970098
360	3,529411765	-1,00876	-0,799511438
361	3,539215686	-0,99918	-1,244345425
362	3,549019608	-0,99219	-1,018664665
363	3,558823529	-0,98772	-0,366850899
364	3,568627451	-0,98767	0,409693954
365	3,578431373	-0,99028	0,932007884
366	3,588235294	-0,9908	1,468058129
367	3,598039216	-0,99712	1,711651757
368	3,607843137	-1,002	1,662307884
369	3,617647059	-1,00752	1,174029739
370	3,62745098	-1,00772	0,600835784
371	3,637254902	-1,00795	0,066272712
372	3,647058824	-1,00612	-0,465823611
373	3,656862745	-0,99947	-0,440951307
374	3,666666667	-0,99974	-0,436837092
375	3,676470588	-0,99478	-0,222363562
376	3,68627451	-0,99487	-0,006763521
377	3,696078431	-0,99478	-0,00728893
378	3,705882353	-0,99127	0,2301779
379	3,715686275	-0,99261	0,404907394
380	3,725490196	-0,99104	0,784292402
381	3,735294118	-0,9962	0,882761969
382	3,745098039	-0,99577	0,934122876
383	3,754901961	-0,99843	0,892673489

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

384	3,764705882	-1,00038	0,687523734
385	3,774509804	-1,00208	0,297955596
386	3,784313725	-0,99985	-0,064424877
387	3,794117647	-0,99681	-0,211877655
388	3,803921569	-0,99557	-0,251679575
389	3,81372549	-0,99409	-0,262494975
390	3,823529412	-0,99004	-0,010441381
391	3,833333333	-0,98784	0,595256658
392	3,843137255	-0,99144	1,141935294
393	3,852941176	-0,99625	1,308342851
394	3,862745098	-0,99925	1,167012418
395	3,87254902	-1,00111	0,937017075
396	3,882352941	-1,00339	0,563896895
397	3,892156863	-1,00128	0,386397876
398	3,901960784	-1,00168	0,324430842
399	3,911764706	-1,00209	0,181056658
400	3,921568627	-1,00078	0,039686152
401	3,931372549	-0,99922	-0,036863194
402	3,941176471	-0,99849	-0,148539216
403	3,950980392	-0,99507	-0,053747508
404	3,960784314	-0,99435	0,107156618
405	3,970588235	-0,99344	0,333990605
406	3,980392157	-0,99492	0,479764747
407	3,990196078	-0,99455	0,608992974
408	4	-0,99417	0,911183007
409	4,009803922	-0,99785	1,109426757
410	4,019607843	-1,00183	0,977651634
411	4,029411765	-1,0027	0,685092606
412	4,039215686	-1,00345	0,28224232
413	4,049019608	-1,00244	-0,127928064
414	4,058823529	-1,0005	-0,549207721
415	4,068627451	-0,99487	-0,60796442
416	4,078431373	-0,99243	-0,473967443
417	4,088235294	-0,98819	-0,022645997
418	4,098039216	-0,98769	0,698214461
419	4,107843137	-0,99196	1,129111765
420	4,117647059	-0,9931	1,556923407
421	4,12745098	-1,00037	1,555556454
422	4,137254902	-1,0042	1,150898407
423	4,147058824	-1,00514	0,715610825
424	4,156862745	-1,00687	0,051921936
425	4,166666667	-1,00101	-0,139473693
426	4,176470588	-1,00253	-0,379514134



Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

427	4,18627451	-0,99611	-0,252663603
428	4,196078431	-0,99571	0,050376879
429	4,205882353	-0,9944	0,434098734
430	4,215686275	-0,99623	0,732993832
431	4,225490196	-0,99765	0,899966871
432	4,235294118	-1,00066	0,808421119
433	4,245098039	-1,00168	0,570687132
434	4,254901961	-1,00183	0,314537132
435	4,264705882	-1,00078	0,100931863
436	4,274509804	-0,99799	0,202491544
437	4,284313725	-0,99948	0,242520547
438	4,294117647	-0,99786	0,356552002
439	4,303921569	-0,99869	0,416884926
440	4,31372549	-0,99933	0,289825123
441	4,323529412	-0,99829	0,202148693
442	4,333333333	-0,99982	-0,176510539
443	4,343137255	-0,99342	-0,191698407
444	4,352941176	-0,99368	-0,116872222
445	4,362745098	-0,99097	0,121418342
446	4,37254902	-0,99135	0,423995752
447	4,382352941	-0,99049	0,871991095
448	4,392156863	-0,99371	1,269333497
449	4,401960784	-0,99738	1,495793464
450	4,411764706	-1,00308	1,306508374
451	4,421568627	-1,00557	0,827496119
452	4,431372549	-1,00624	0,22627741
453	4,441176471	-1,00386	-0,285978064
454	4,450980392	-0,99989	-0,454660907
455	4,460784314	-0,99767	-0,455075
456	4,470588235	-0,99323	-0,114018096
457	4,480392157	-0,99228	0,462404003
458	4,490196078	-0,99446	0,91210915
459	4,5	-0,99675	1,226873366
460	4,509803922	-1,00218	1,115170629
461	4,519607843	-1,00381	0,731230596
462	4,529411765	-1,0033	0,378543464
463	4,539215686	-1,00279	0,065595915
464	4,549019608	-1,00174	-0,199592892
465	4,558823529	-0,99895	-0,315285172
466	4,568627451	-0,99574	-0,245321242
467	4,578431373	-0,99196	0,260130637
468	4,588235294	-0,99554	0,566795547
469	4,598039216	-0,99536	0,760813766

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

470	4,607843137	-0,99826	0,731827247
471	4,617647059	-1,00006	0,380720792
472	4,62745098	-0,9978	0,150631944
473	4,637254902	-0,99724	0,002564706
474	4,647058824	-0,99417	0,134838521
475	4,656862745	-0,99416	0,406942239
476	4,666666667	-0,99452	0,712231291
477	4,676470588	-0,9973	0,826080188
478	4,68627451	-0,99844	0,80397741
479	4,696078431	-1,00063	0,596908578
480	4,705882353	-1,00052	0,34132406
481	4,715686275	-0,99983	0,099720752
482	4,725490196	-0,99776	0,009074428
483	4,735294118	-0,99706	0,02801585
484	4,745098039	-0,99571	0,09830482
485	4,754901961	-0,99284	0,487062582
486	4,764705882	-0,99548	0,87220482
487	4,774509804	-0,99866	0,979989257
488	4,784313725	-0,99995	0,961279371
489	4,794117647	-1,00299	0,698236724
490	4,803921569	-1,0038	0,245512704
491	4,81372549	-1,00174	-0,100170466
492	4,823529412	-0,99866	-0,199722018
493	4,833333333	-0,99638	-0,112085662
494	4,843137255	-0,99454	0,218507598
495	4,852941176	-0,99745	0,246661479
496	4,862745098	-0,99391	0,424538971
497	4,87254902	-0,9953	0,643255842
498	4,882352941	-0,99754	0,63337549
499	4,892156863	-0,99768	0,627083946
500	4,901960784	-1,00006	0,361058047
501	4,911764706	-0,99673	0,298623489
502	4,921568627	-0,99797	0,270879248
503	4,931372549	-0,99741	0,222470425
504	4,941176471	-0,99631	0,280790768
505	4,950980392	-0,99574	0,409021609
506	4,960784314	-0,99628	0,512166422
507	4,970588235	-0,99768	0,507571324
508	4,980392157	-0,99881	0,335900776
509	4,990196078	-0,99687	0,213444975
510	5	-0,9948	0,368988154
511	5,009803922	-0,9975	0,413759191
512	5,019607843	-0,99744	0,351008497

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

513	5,029411765	-0,99562	0,449206454
514	5,039215686	-0,99602	0,627159641
515	5,049019608	-0,99829	0,703900449
516	5,058823529	-0,99982	0,639724918
517	5,068627451	-1,00037	0,427036887
518	5,078431373	-0,99838	0,418274142
519	5,088235294	-1,00127	0,20916156
520	5,098039216	-0,99884	0,040964052
521	5,107843137	-0,99698	0,094680392
522	5,117647059	-0,99599	0,245904534
523	5,12745098	-0,99455	0,634457475
524	5,137254902	-0,99838	0,821226838
525	5,147058824	-1,00052	0,705476675
526	5,156862745	-1,00063	0,505665605
527	5,166666667	-1,00066	0,267285989
528	5,176470588	-0,99974	0,099823162
529	5,18627451	-0,99902	-0,077876225
530	5,196078431	-0,99623	-0,121195711
531	5,205882353	-0,99466	0,005303064
532	5,215686275	-0,99426	0,135711234
533	5,225490196	-0,99129	0,54733317
534	5,235294118	-0,99422	0,887437214
535	5,245098039	-0,99724	0,975986356
536	5,254901961	-1,00066	0,67718031
537	5,264705882	-0,99905	0,398851838
538	5,274509804	-0,99931	0,18635527
539	5,284313725	-0,99742	0,161229167
540	5,294117647	-0,99603	0,345803391
541	5,303921569	-0,99629	0,650157394
542	5,31372549	-0,99898	0,798433905
543	5,323529412	-1,00076	0,699305351
544	5,333333333	-1	0,695387051
545	5,343137255	-1,00456	0,268541626
546	5,352941176	-0,99994	0,062305433
547	5,362745098	-1,00067	-0,151486846
548	5,37254902	-0,99579	-0,068886397
549	5,382352941	-0,9959	0,15084567
550	5,392156863	-0,99564	0,34140866
551	5,401960784	-0,9957	0,511632108
552	5,411764706	-0,99591	0,698601838
553	5,421568627	-0,99815	0,757968546
554	5,431372549	-1	0,571764665
555	5,441176471	-0,99969	0,358791667

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

556	5,450980392	-1,00084	-0,041921364
557	5,460784314	-0,99666	-0,288057435
558	5,470588235	-0,9935	-0,170495057
559	5,480392157	-0,99301	0,041088725
560	5,490196078	-0,99089	0,408469485
561	5,5	-0,99078	0,992697018
562	5,509803922	-0,99712	1,156143587
563	5,519607843	-0,99893	1,038095874
564	5,529411765	-1,00093	0,782462377
565	5,539215686	-1,00246	0,3325346
566	5,549019608	-1,00053	-0,021466054
567	5,558823529	-0,99838	-0,173331373
568	5,568627451	-0,99606	-0,140609109
569	5,578431373	-0,99321	0,191075041
570	5,588235294	-0,9939	0,585220466
571	5,598039216	-0,99596	0,808594771
572	5,607843137	-0,99818	0,826182598
573	5,617647059	-0,99988	0,65197406
574	5,62745098	-1,00005	0,403856577
575	5,637254902	-0,99883	0,302675368
576	5,647058824	-0,99982	0,124343709
577	5,656862745	-0,99727	0,099030596
578	5,666666667	-0,99654	0,209838358
579	5,676470588	-0,99574	0,393771405
580	5,68627451	-0,99559	0,721074183
581	5,696078431	-0,99905	0,811057067
582	5,705882353	-1,00008	0,70410527
583	5,715686275	-1,0013	0,488683333
584	5,725490196	-1,00243	0,042001511
585	5,735294118	-0,99846	-0,224144608
586	5,745098039	-0,99593	-0,212692484
587	5,754901961	-0,99443	-0,069937214
588	5,764705882	-0,99226	0,265487132
589	5,774509804	-0,9922	0,717431944
590	5,784313725	-0,99576	0,9511096
591	5,794117647	-0,99783	0,978132516
592	5,803921569	-1,00029	0,752091095
593	5,81372549	-1,00031	0,50909857
594	5,823529412	-1,00218	0,07054277
595	5,833333333	-0,99799	-0,170931413
596	5,843137255	-0,99582	-0,143325204
597	5,852941176	-0,99428	0,048021446
598	5,862745098	-0,99326	0,350652288

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

599	5,87254902	-0,99292	0,791193954
600	5,882352941	-0,99651	1,03832741
601	5,892156863	-0,9995	0,967789093
602	5,901960784	-1,00098	0,776665074
603	5,911764706	-1,00389	0,251425776
604	5,921568627	-0,9993	-0,012338194
605	5,931372549	-0,99818	-0,046004412
606	5,941176471	-0,99655	0,074728227
607	5,950980392	-0,9962	0,246127165
608	5,960784314	-0,99544	0,454723243
609	5,970588235	-0,9964	0,642917443
610	5,980392157	-0,9984	0,654854902
611	5,990196078	-0,99855	0,63386973
612	6	-0,99985	0,497535131
613	6,009803922	-0,99992	0,291757557
614	6,019607843	-0,99994	0,055773448
615	6,029411765	-0,99806	-0,140528962
616	6,039215686	-0,99359	0,059540359
617	6,049019608	-0,9937	0,445524142
618	6,058823529	-0,99612	0,652521732
619	6,068627451	-0,99704	0,733252083
620	6,078431373	-0,99835	0,665590155
621	6,088235294	-0,99861	0,571119036
622	6,098039216	-1,00014	0,398491176
623	6,107843137	-1,00006	0,123235008
624	6,117647059	-0,99678	0,097815033
625	6,12745098	-0,99608	0,278181536
626	6,137254902	-0,99672	0,433096895
627	6,147058824	-0,99622	0,669882475
628	6,156862745	-0,99899	0,755791217
629	6,166666667	-1,00008	0,708508905
630	6,176470588	-1,00031	0,667673979
631	6,18627451	-1,00171	0,551906005
632	6,196078431	-1,00305	0,283048243
633	6,205882353	-1,00197	-0,027891176
634	6,215686275	-0,99843	-0,076722998
635	6,225490196	-0,99683	0,10957884
636	6,235294118	-0,99657	0,373258211
637	6,245098039	-0,99722	0,607113971
638	6,254901961	-0,99905	0,656426675
639	6,264705882	-0,99989	0,567815196
640	6,274509804	-1,00061	0,381246201
641	6,284313725	-1,00009	0,184235825

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

642	6,294117647	-0,99879	0,061406005
643	6,303921569	-0,99699	0,096412459
644	6,31372549	-0,99649	0,224295997
645	6,323529412	-0,99588	0,380720792
646	6,333333333	-0,99605	0,548170261
647	6,343137255	-0,99762	0,64194232
648	6,352941176	-0,99986	0,453040155
649	6,362745098	-0,99655	0,516423121
650	6,37254902	-0,9995	0,473174877
651	6,382352941	-0,99902	0,409351103
652	6,392156863	-0,99982	0,272424306
653	6,401960784	-0,99776	0,215212663
654	6,411764706	-0,99725	0,344458701
655	6,421568627	-0,99826	0,405780106
656	6,431372549	-0,99687	0,540173366
657	6,441176471	-0,99791	0,749210253
658	6,450980392	-1,00301	0,458125041
659	6,460784314	-0,99921	0,287345016
660	6,470588235	-0,99911	0,24545482
661	6,480392157	-0,9984	0,270580923
662	6,490196078	-0,99889	0,286819608
663	6,5	-0,99826	0,299972631
664	6,509803922	-0,99785	0,327262704
665	6,519607843	-0,99706	0,450898448
666	6,529411765	-0,99849	0,519059069
667	6,539215686	-0,99927	0,473139257
668	6,549019608	-0,99876	0,45509281
669	6,558823529	-0,99907	0,426262132
670	6,568627451	-0,99944	0,35755384
671	6,578431373	-0,99965	0,250285907
672	6,588235294	-0,99892	0,117424346
673	6,598039216	-0,99609	0,218138031
674	6,607843137	-0,99683	0,363903268
675	6,617647059	-0,99756	0,435683864
676	6,62745098	-0,99763	0,42704134
677	6,637254902	-0,99696	0,482489747
678	6,647058824	-0,99831	0,486969077
679	6,656862745	-0,99939	0,293698897
680	6,666666667	-0,99631	0,360946732
681	6,676470588	-0,99944	0,19417406
682	6,68627451	-0,99538	0,299798979
683	6,696078431	-0,99747	0,391629698
684	6,705882353	-0,99536	0,600484028

Seism-O: desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha

<b>685</b>	6,715686275	-0,99754	0,80981924
<b>686</b>	6,725490196	-1,00105	0,69797402
<b>687</b>	6,735294118	-1,00195	0,339850245
<b>688</b>	6,745098039	-0,99869	0,196992565
<b>689</b>	6,754901961	-0,99896	0,146197141
<b>690</b>	6,764705882	-0,99802	0,172400776
<b>691</b>	6,774509804	-0,99733	0,255771528
<b>692</b>	6,784313725	-0,99597	0,47970241
<b>693</b>	6,794117647	-0,99782	0,647223121
<b>694</b>	6,803921569	-0,99908	0,674370711
<b>695</b>	6,81372549	-1,00047	0,541776307
<b>696</b>	6,823529412	-1,00052	0,360946732
<b>697</b>	6,833333333	-1,00081	0,066437459
<b>698</b>	6,843137255	-0,99727	0,018340319
<b>699</b>	6,852941176	-0,99747	0,017231618
<b>700</b>	6,862745098	-0,99556	0,08767643
<b>701</b>	6,87254902	-0,99413	0,331902328
<b>702</b>	6,882352941	-0,9951	0,556483292
<b>703</b>	6,892156863	-0,9958	0,74020818
<b>704</b>	6,901960784	-0,99768	0,794112325
<b>705</b>	6,911764706	-0,99944	0,704655327
<b>706</b>	6,921568627	-1,00131	0,402954604
<b>707</b>	6,931372549	-0,9991	0,247506521

